



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

UNIVERSIDAD ANDINA

"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**"TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA
PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS
DE LA CIUDAD DE PUNO"**

PRESENTADA POR:

Bach. LUIS ALBERTO CONDORI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

**JULIACA - PERÚ
2018**



**UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**"TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA
PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS
DE LA CIUDAD DE PUNO"**

PRESENTADA POR:

Bach. LUIS ALBERTO CONDORI MAMANI

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADO POR JURADOR REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

M. Sc. Ing. Orlando Edilberto La Torre Barra

PRIMER MIEMBRO

:

Dr. Ing. César Guillermo Camargo Nájar

SEGUNDO MIEMBRO

:

Mgt. Ing. Hernán Pedro Martínez Ramos

ASESOR

:

Ing. Hernán Almonte Pilco

JULIACA - PERÚ

2018



RESOLUCIÓN DECANAL N° 218-2018-D-FICP-UANCV

Juliaca, 29 de agosto de 2018

VISTOS:

El Informe N° 027-2018-EPIC-FICP-UANCV-J, del Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, el Informe N° 069-2018/OELTB-FICP-EPIC del Presidente del Jurado dictaminador del Trabajo de Tesis, RESOLUCIÓN DECANAL N° 183-2016-D-FICP-UANCV, y con el acta de calificación de Perfil de tesis de fecha 26 de setiembre de 2016, y el acta de calificación del Borrador de Tesis de fecha 30 de julio de 2018, para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil, con el tema titulado: "TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO".

CONSIDERANDO:

Que, el(los) Bachiller(es): CONDORI MAMANI, LUIS ALBERTO, ha presentado su Trabajo de Tesis titulado: "TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO".

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el presidente de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías, nominó como Jurado a los siguientes Docentes:

- | | | |
|---------------|---|---|
| • Presidente | : | M.Sc. Ing. ORLANDO EDILBERTO LA TORRE BARRA |
| • 1er Miembro | : | Dr. Ing. CÉSAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR |
| • 2do Miembro | : | Mgtr. Ing. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS |

Que, el Jurado Dictaminador ha aprobado en su integridad el Trabajo de Tesis titulado: "TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO".

Que, la Oficina de Investigación ha aprobado con el Dictamen 200-2018 la originalidad del trabajo de investigación titulado "TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO".

Estando en la opinión favorable por el Presidente de la Comisión de Grados y Títulos, en concordancia al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria 30220, ley de creación de la UANCV 23738 y modificación, Resolución de Institucionalización 1287-92-ANR D.L. 739, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR, el TRABAJO DE TESIS, de el(los) Bachiller(es): CONDORI MAMANI, LUIS ALBERTO, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: "TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO".

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Tesis en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER, como ASESOR DE TESIS al docente Ordinario, Ing. HERNAN ALMONTE PILCO, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

ARTICULO TERCERO.- La Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional Ingeniería Civil, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

Cc:
Intercedido
Acta
AT28/Incl



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. ALFREDO T. ZEGARRA BUTRÓN
DECANO
CIP: 32590



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Carlos A. Cáceres Vargas
SECRETARIO ACADÉMICO
CIP: 72725



DEDICATORIA

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Porque en su infinita misericordia, me dio la vida para alcanzar mis sueños.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y nunca abandonarme, por darme salud para poder lograr mis objetivos.

MI MADRE

Elena Asunta Mamani Carcasi (+), quien siempre me alentó para terminar mis estudios de ingeniería.

Por ser la mejor, ejemplo de lucha y superación porque nunca dudó de mí y me apoyó en todo momento.

MI NOVIA

Noris Mavel, quien durante todos estos años me ha brindado su apoyo incondicional.

MI HIJA

Emma Sarahí por quien demostré que no importa lo difícil de la tarea, lo importante es culminarla.



AGRADECIMIENTOS

Un infinito agradecimiento a mi madre que con su esfuerzo, sacrificio, trabajo, apoyo y amor hicieron posible este logro.

Muchas gracias a mis queridos suegros por ayudarme a ser un profesional y una buena persona y siempre brindarme un buen consejo. Gracias papá Juan que a pesar de haber tenido la ausencia de un padre te convertirte en el mejor ejemplo, te admiro por tu inteligencia, por ser una persona trabajadora que siempre supo llevar el pan de cada día a nuestro hogar. Gracias a mi madre Juanita por todo su esfuerzo y amor que me brinda, todo lo que ha luchado por sacar adelante a nuestra familia eres mi inspiración en cada momento y meta en mi vida. Te admiro por todas las adversidades que has sabido vencer, por ser una mujer luchadora y trabajadora.

Te agradezco Mavel, ya que eres un pilar fundamental en mi vida, desde el día que te conocí cambiaste mi vida para bien; siempre estuviste a mi lado tanto en los momentos felices como en los momentos tristes, me brindaste tu ayuda y amor de una manera sincera te agradezco por siempre estar a mi lado.

A la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez"; Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, específicamente a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por haberme brindado los conocimientos necesarios para mi posterior desarrollo profesional.

A las personas que integran el Laboratorio de Mecánica de Suelos, haberme permitido realizar los diferentes ensayos que se han llevado a cabo durante mi período de estudios, y principalmente por su apoyo y confianza en la formación tanto personal como profesional dentro de la universidad.

Le agradezco a mi asesor Ing. Hernán Almonte Pilco por su guía en el desarrollo de esta tesis, por compartirme su conocimiento y a más de ser una buena profesional es una excelente persona.

A los miembros del jurado dictaminador; Mgtr. Ing. Orlando Edilberto La Torre Barra, Dr. Ing. César Guillermo Camargo Nájar y Mgtr. Ing. Hernán Pedro Martínez Ramos por haberme brindado su amistad y cariño, durante todos los días que permanecí en las distintas salas de esta facultad.

A mis compañeros de la facultad, por haber participado o compartido la formación académica tanto fuera como dentro de las aulas de esta universidad.
Gracias a mis amigos por los momentos y las experiencias compartidas, siempre me llevaré el mejor recuerdo de todos.

A todas las personas e instituciones que de una y otra manera colaboraron en el desarrollo y culminación de esta investigación.

Luis Alberto-LACM



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE TABLAS.....	xiii
INDICE DE GRÁFICOS	xvi
INDICE DE ECUACIONES	xvi
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	xvii
INDICE DE ANEXOS	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxii
INTRODUCCIÓN	xxiv
CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA	1
1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	3
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	3
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	4
1.3.3.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	4
1.3.3.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	4
1.3.3.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	5
1.3.3.4. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.....	5
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	6
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	6
1.4.3. VARIABLES	6
1.4.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	7
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL.....	8



2.1.2. A NIVEL NACIONAL	10
2.2. BASES TEÓRICAS	11
2.2.1. EL CONCRETO	11
2.2.1.1. INTRODUCCIÓN.....	11
2.2.1.2. TECNOLOGÍA DEL CONCRETO	11
2.2.1.3. DEFINICIÓN DEL CONCRETO.....	12
2.2.1.4. LOS COMPONENTES DEL CONCRETO	12
2.2.1.5. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO.....	13
1. TRABAJABILIDAD	13
2. SEGREGACIÓN	14
3. EXUDACIÓN	14
4. CONTRACCIÓN	15
2.2.1.6. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	15
1. ELASTICIDAD	15
2. RESISTENCIA.....	16
3. EXTENSIBILIDAD.....	16
2.2.2. COMPONENTES DEL CONCRETO	16
2.2.2.1. CEMENTO PORTLAND	16
1. CONCEPTOS GENERALES.....	16
2. DEFINICIONES	17
3. TIPOS DE CEMENTOS	17
4. FABRICACIÓN DEL CEMENTO PÓRTLAND.....	18
5. CEMENTO PÓRTLAND TIPO IP	21
2.2.2.2. AGREGADOS	23
1. INTRODUCCIÓN.....	23
2. CONCEPTOS GENERALES.....	23
3. AGREGADO GLOBAL	24
4. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	24
5. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO.....	29
6. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO	37
2.2.2.3. AGUA.....	38
1. INTRODUCCIÓN	38
2. CONCEPTOS GENERALES.....	39
3. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA	39
4. AGUA POTABLE	40
5. EL AGUA DE MEZCLA	41



2.2.2.4. ADITIVO	42
1. INTRODUCCIÓN	42
2. CONCEPTOS GENERALES.....	42
3. CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS	42
4. ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA - PLASTIFICANTES.....	42
2.2.3. VIDRIO	44
2.2.3.1. GENERALIDADES	44
1. DEFINICIÓN	44
2. CLASIFICACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS DEL VIDRIO	44
3. FABRICACIÓN DEL VIDRIO	46
4. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS	49
2.2.3.2. TIPOLOGÍA DE VIDRIOS.....	50
2.2.3.3. RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DEL VIDRIO.....	52
1. RECICLAJE DEL VIDRIO	52
2. REUTILIZACIÓN DEL VIDRIO.....	52
2.2.3.4. TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO	53
2.2.4. ADOQUINES	54
2.2.4.1. DEFINICIÓN.....	54
2.2.4.2. CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS.....	54
2.2.4.3. MATERIALES.....	56
2.2.4.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS.....	56
2.2.4.5. IMPORTANCIA DEL USO DEL ADOQUÍN EN LA PAVIMENTACIÓN....	57
2.2.4.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES	57
2.2.4.8. AMBITO DE APLICACIÓN	58
1. ÁREAS PEATONALES	58
2. ÁREAS SOMETIDAS A TRÁFICO RODADO	59
3. ÁREAS CON AMBIENTE AGRESIVO	59
4. OTRAS APLICACIONES	59
2.2.5. DISEÑO DE MEZCLAS.....	59
2.2.5.1. INTRODUCCIÓN.....	59
2.2.5.2. PARÁMETROS BÁSICOS DEL DISEÑO DE MEZCLA	60
1. EL PRINCIPIO DE LOS VOLUMENES ABSOLUTOS.....	60
2. LA RESISTENCIA EN COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO.....	60
3. LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS Y EL TAMAÑO MÁXIMO	60
4. LA TRABAJABILIDAD Y SU TRASCENDENCIA	60



2.2.5.3. METODOS DE DISEÑO DE MEZCLA.....	61
1. MÉTODO DEL COMITE 211 DEL ACI.....	61
2. MÉTODO DEL AGREGADO GLOBAL.....	61
2.2.6. PAVIMENTO.....	62
2.2.6.1. DEFINICIÓN.....	62
2.2.6.2. CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR UN PAVIMENTO.....	62
2.2.6.3. CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS.....	63
1. PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	63
2. PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS.....	63
3. PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	63
4. PAVIMENTOS ARTICULADOS.....	64
2.2.7. PRODUCCIÓN Y COSTO ECONÓMICO.....	65
2.2.7.1. INTRODUCCIÓN.....	65
2.2.7.2. PRODUCCIÓN.....	65
1. DEFINICIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	65
2. FACTORES DE LA PRODUCCIÓN.....	65
3. LA FUNCIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	66
2.2.7.3. COSTO ECONÓMICO.....	67
1. COSTOS Y GASTOS.....	67
2. CLASIFICACIÓN DE COSTOS.....	67
2.3. CONCEPTUAL.....	69
CAPÍTULO III.....	71
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	71
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	71
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	71
3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	72
3.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	72
3.2.1. TÉCNICAS.....	72
3.2.2. INSTRUMENTOS.....	73
3.3. PROCEDIMIENTOS.....	73
3.3.1. ETAPAS DEL PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO.....	74
3.3.2. PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO.....	76
3.3.3. PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS.....	77
3.3.3.1. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	77
1 ENSAYOS REALIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LOS ADOQUINES	77
2. DISEÑO DE MEZCLA ELABORADA.....	77



3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES.....	78
4. ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES.....	78
5. ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL DE ADOQUINES	79
3.3.2.2. PROCESAMIENTO MANUAL Y COMPUTARIZADO	79
1. ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS.....	79
2. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	79
3. REDACCIÓN DEL INFORME FINAL	79
3.4. DISEÑO DE LA PRUEBA DE HIPOTESIS	79
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN	82
3.5.1. POBLACIÓN	82
3.5.2. MUESTRA	82
3.6. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	83
CAPÍTULO IV	84
ANÁLISIS Y CÁLCULOS	84
4.1. ORIGEN DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE	84
4.1.1. LA CANTERA DE MALCOMAYO - ORIGEN.....	84
4.1.2. VIDRIO - ORIGEN	85
4.2. TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO	85
4.2.1. DISPONIBILIDAD DEL VIDRIO RECICLADO.....	85
4.2.2. RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN DEL VIDRIO RECICLADO	86
4.2.3. TRITURACIÓN DEL VIDRIO RECICLADO	87
4.2.4. TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO.....	87
4.2.5. PROCESAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO	88
4.2.6. PROPORCIONAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO	89
4.3. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL ADOQUIN	89
4.3.1. CEMENTO	90
4.3.2. AGREGADO FINO	90
4.3.2.1. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	90
4.3.2.2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	92
4.3.2.3. ENSAYO PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO COMPACTADO	94
4.3.2.4. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO	96
4.3.3. VIDRIO RECICLADO	98
4.3.3.1. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	98



4.3.3.2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD	101
4.3.3.3. ENSAYO PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO COMPACTADO	102
4.3.3.4. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - MÓDULO DE FINEZA DEL VIDRIO	104
4.4. DISEÑO DE MEZCLA	108
4.4.1. INTRODUCCIÓN	108
4.4.2. MATERIALES	108
1. CEMENTO	108
2. AGREGADO FINO	109
3. AGUA	109
4. ADITIVO	109
5. VIDRIO	110
4.4.3. DOSIFICACIÓN POR MÉTODO DE AGREGADO GLOBAL	110
4.4.4. ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS	114
4.5. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ADOQUINES	115
4.5.1. DOSIFICADO	115
4.5.2. MEZCLADO	116
4.5.3. MOLDEADO	117
4.5.4. FRAGUADO	118
4.5.5. CURADO	119
4.5.6. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	120
4.5.7. PRODUCCIÓN DE ADOQUINES CON MEZCLA PATRÓN	121
4.5.7.1. PRODUCCIÓN DE ADOQUINES SIN ADICION DE VIDRIO	121
4.5.7.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MEZCLA CON 0% DE VIDRIO	121
4.5.8. PRODUCCIÓN DE ADOQUINES DE MEZCLA CON INCLUSIÓN DEL VIDRIO	123
4.5.8.1. PRODUCCIÓN ADOQUINES CON VIDRIO MOLIDO AL 10%, 20% Y 30%	123
4.5.8.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE MEZCLA CON 10%, 20% Y 30% DE VIDRIO	123
4.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES	125
4.6.1. MÁQUINA DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	125
4.6.2. PROCEDIMIENTO Y CALCULO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN	126
4.6.3. PREPARACIÓN Y ROTURA A COMPRESIÓN DE LOS ADOQUINES	128
4.7. COSTOS Y PRESUPUESTOS DE ADOQUINES	130
4.7.1. MEMORIA DE CÁLCULO DEL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	130



4.7.1.1. CANTIDAD Y PRECIO UNITARIOS DE LOS MATERIALES	131
4.7.1.2. COSTO DE MATERIALES PARA ADOQUINES.....	132
4.7.1.3. COSTO DE MANO DE OBRA PARA ADOQUINES.....	133
4.7.2. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES	135
4.7.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES	139
CAPÍTULO V	140
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	140
5.1. RESULTADO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO Y VIDRIO	140
5.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO.....	141
5.1.1.1. ENSAYO PESO ESPECÍFICO, ABSORCIÓN Y RESISTENCIA	141
5.1.1.2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	141
5.1.1.3. ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO	141
5.1.1.4. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO	142
5.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL VIDRIO	143
5.1.2.1. ENSAYO PESO ESPECÍFICO, ABSORCIÓN Y RESISTENCIA	143
5.1.2.2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	143
5.1.2.3. ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO	143
5.1.2.4. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL VIDRIO.....	143
5.2. RESULTADOS DE LA DOSIFICACIÓN DE LOS ADOQUINES	147
5.2.1. RESULTADOS DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA PATRÓN	147
5.2.2. RESULTADO DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA CON INCLUSIÓN DE VIDRIO	149
5.2.3. RESUMEN DE MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES CON VIDRIOS RECICLADOS AL 0%, 10%, 20% y 30%	151
5.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN	152
5.3.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DE LA MEZCLA PATRÓN A LOS 7, 14, y 28 DÍAS.....	152
5.3.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE LA MEZCLA REEMPLAZANDO EL 10% DE AGREGADO FINO POR VIDRIO A LOS 7, 14, Y 28 DÍAS	153
5.3.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE LA MEZCLA REEMPLAZANDO EL 20% DE AGREGADO FINO POR VIDRIO A LOS 7, 14, Y 28 DÍAS	154
5.3.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE LA MEZCLA REEMPLAZANDO EL 30% DE AGREGADO FINO POR VIDRIO A LOS 7, 14, Y 28 DÍAS	155



5.3.5. RELACIÓN DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LOS ADOQUINES A LOS 7 DÍAS	156
5.3.6. RELACIÓN DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LOS ADOQUINES A LOS 14 DÍAS	156
5.3.7. RELACIÓN DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LOS ADOQUINES A LOS 28 DÍAS	157
5.3.8. COMPARACIÓN DE LAS RESISTENCIAS A COMPRESIÓN A DIFERENTES EDADES DE LOS ADOQUINES	157
5.3.9. COMPARACIÓN DE LAS CURVAS A LA RESISTENCIAS A COMPRESIÓN CON LAS DIFERENTES EDADES DE LOS ADOQUINES	158
5.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES	159
5.4.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE LA MEZCLA PATRÓN A LOS 28 DÍAS	159
5.4.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE LA MEZCLA REEMPLAZANDO EL 10%, 20% Y 30% DE AGREGADO FINO POR VIDRIO A LOS 28 DÍAS	159
5.4.3. COMPARACIÓN DE LA ABSORCIÓN A DIFERENTES PROPORCIONES DE VIDRIO	160
5.5. RESULTADOS DEL ENSAYO A TOLERANCIA DIMENSIONAL DE ADOQUINES	161
5.6. RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DE LOS ADOQUINES.....	164
5.7. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	172
5.8. RESULTADOS DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ADOQUINES	182
5.8.1. RESULTADOS DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ADOQUINES CONVENCIONALES Y LOS ADOQUINES CON 10%, 20% y 30% DE VIDRIO RECICLADO COMO REEMPLAZO DE AGREGADO FINO.....	183
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	184
CONCLUSIONES.....	184
RECOMENDACIONES	186
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	188
PANEL FOTOGRÁFICO	190
ANEXOS.....	213



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto .	13
Figura 2. Proceso de fabricación del cemento portland por vía seca.....	18
Figura 3. Esquematización del peso volumétrico	34
Figura 4. Partícula de agregado.....	36
Figura 5. Estructura regular propia de los cristales y estructura amorfa propia de los vidrios.	44
Figura 6. Proceso diferenciado de la fabricación del vidrio.....	46
Figura 7. Esquema del proceso de elaboración del vidrio flotado.....	49
Figura 8. Proceso del reciclaje del vidrio.....	52
Figura 9. Ciclo de vida ideal del vidrio.....	53
Figura 10. Formaciones de adoquines	54
Figura 11. Absorción de agua del adoquín.....	56
Figura 12. Esfuerzo a la rotura del adoquín.	56
Figura 13. Secciones transversales típicas	64
Figura 14. Representación gráfica de la producción	67
Figura 15. Procedimiento experimental de los adoquines	76
Figura 16. Ubicación de cantera Malcomayo	84
Figura 17. Ubicación de tiendas de vidriería	85
Figura 18. Trituración manual del vidrio reciclado	87
Figura 19. Instrumentos para ensayo de peso específico	90
Figura 20. Peso del picnómetro, con agua y muestra seca	91
Figura 21. Peso tara, peso muestra húmeda y seca de agregado	93
Figura 22. Instrumentos de peso unitario suelto del agregado fino	94
Figura 23. Instrumentos de peso unitario compactado del agregado fino.....	95
Figura 24. Instrumentos para realizar granulometría	97
Figura 25. Peso muestras según tamiz retenido	97
Figura 26. Curva granulométrica con agregado fino.....	98
Figura 27. Peso de la fiola y peso fiola con agua	99
Figura 28. Peso fiola, agua y muestra, peso tara y muestra seca	100
Figura 29. Peso de tara, peso húmedo y seco del vidrio	101
Figura 30. Peso unitario suelto del vidrio molido	102
Figura 31: Peso unitario compactado del vidrio molido	103
Figura 32. Instrumentos y muestras de vidrio con agregado fino	104
Figura 33. Curva granulométrica del agregado con 10 % vidrio	106
Figura 34. Curva granulométrica del agregado con 20 % vidrio	107
Figura 35. Curva granulométrica del agregado con 30 % vidrio	107



Figura 36. Proporción del cemento	108
Figura 37. Proporción del agregado fino	109
Figura 38. Proporción del agua	109
Figura 39. Proporción del aditivo	109
Figura 40. Proporción del vidrio	110
Figura 41. Pesaje según proporciones	114
Figura 42. Mezcla de los agregados	114
Figura 43. Preparación de la mezcla	114
Figura 44. Molde metálico	115
Figura 45. Dosificación de materiales para el adoquín	115
Figura 46. Mezclado de los componentes para el adoquín	116
Figura 47. Proceso de compactación	117
Figura 48. Moldeado de adoquín	117
Figura 49. Proceso de fraguado	118
Figura 50. Fraguado de adoquín	118
Figura 51. Proceso de curado	119
Figura 52. Curado de adoquín	119
Figura 53. Proceso de reposo	120
Figura 54. Asentamiento o Slump	122
Figura 55. Materiales para elaboración de muestras	122
Figura 56. Proceso de reposo	122
Figura 57. Asentamiento o Slump, 10% vidrio	124
Figura 58. Asentamiento o Slump, 20% vidrio	124
Figura 59. Asentamiento o Slump, 30% vidrio	124
Figura 60. Máquina para ensayo de adoquines a compresión	125
Figura 61. Medición de las dimensiones en el adoquín entero	126
Figura 62. Realización del recapeo	128
Figura 63. Ensayo de las muestras a compresión	128
Figura 64. Adoquín durante el ensayo a compresión	129
Figura 65. Adoquín después del ensayo a compresión	129
Figura 66. Análisis comparativo del costo de producción de los adoquines	139



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos físicos Obligatorios	21
Tabla 2 Requisitos químicos obligatorios	22
Tabla 3 Tamaño nominal del agregado global	24
Tabla 4 Clasificación general del agregado según su tamaño.....	25
Tabla 5 Clasificación del agregado según su densidad.....	27
Tabla 6 Clasificación de las partículas del agregado según su forma	28
Tabla 7 Clasificación de las partículas del agregado según su textura superficial.....	29
Tabla 8 Granulometría de agregado fino.....	30
Tabla 9 Determinación de la granulometría de agregados	31
Tabla 10 Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura. 32	
Tabla 11 Límites permisibles para el agua de mezcla y curado	41
Tabla 12 Clasificación de las materias primas del vidrio en función de su tipología	45
Tabla 13 Formulaciones más comunes en la fabricación del vidrio	47
Tabla 14 Propiedades físicas y mecánicas del vidrio	49
Tabla 15 Requisito a la resistencia a la compresión.....	55
Tabla 16 Requisito de tolerancia dimensional	55
Tabla 17 Requisito complementario la absorción	55
Tabla 18 Generación de los residuos sólidos reaprovechables.....	86
Tabla 19 Análisis granulométrico para tratamiento del vidrio.....	88
Tabla 20 Ensayos y normas para los agregados y vidrio	89
Tabla 21 Cálculos del peso específico	91
Tabla 22 Cálculos de la capacidad de absorción	91
Tabla 23 Cálculos del ensayo del contenido de humedad.....	93
Tabla 24 Molde para el ensayo de Peso Unitario Suelto y Compactado	95
Tabla 25 Cálculos del ensayo de peso unitario suelto.....	95
Tabla 26 Cálculos del ensayo de peso unitario compactado.....	96
Tabla 27 Cálculos del tamizado del agregado fino	97
Tabla 28 Cálculos del peso específico del vidrio	100
Tabla 29 Cálculos de la capacidad de absorción del vidrio	101
Tabla 30 Promedio de resultados del ensayo del contenido de humedad.....	102
Tabla 31 Molde para el ensayo de peso unitario suelto y compactado.....	103
Tabla 32 Cálculos del ensayo de peso unitario suelto del vidrio.....	103
Tabla 33 Cálculos del ensayo de peso unitario compactado del vidrio.....	104
Tabla 34 Cálculos del tamizado del agregado fino y 10% vidrio.....	105
Tabla 35 Cálculos del tamizado del agregado fino y 20% vidrio.....	105
Tabla 36 Cálculos del tamizado del agregado fino y 30% vidrio.....	106



Tabla 37 Selección de resistencia promedio	110
Tabla 38 Selección del asentamiento.....	111
Tabla 39 Volumen unitario de agua.....	111
Tabla 40 Contenido de aire incorporado	112
Tabla 41 Relación de agua cemento por resistencia	112
Tabla 42 Dosificación de la mezcla patrón	121
Tabla 43 Propiedades de la mezcla patrón	121
Tabla 44 Dosificación de la mezcla con inclusión de vidrio al 10%, 20% y 30%.....	123
Tabla 45 Propiedades de la mezcla con inclusión de vidrio al 10%, 20% y 30%	123
Tabla 46 Proporción para un adoquín en Kg.....	130
Tabla 47 Proporción para un adoquín en m ³	130
Tabla 48 Cantidades de material por unidad de adoquín al 0%, 10%, 20% y 30%.....	131
Tabla 49 Precios unitarios de los materiales	131
Tabla 50 Costo de material para 50 adoquines para 1 m ² al 0%, 10%, 20% y 30%.....	132
Tabla 51 Cálculo de costo de hora hombre.....	133
Tabla 52 Análisis de costo unitario del adoquín convencional	135
Tabla 53 Análisis de costo unitario del adoquín con 10% de vidrio reciclado	136
Tabla 54 Análisis de costo unitario del adoquín con 20% de vidrio reciclado	137
Tabla 55 Análisis de costo unitario del adoquín con 30% de vidrio reciclado	138
Tabla 56 Precio por m ² de producción de adoquines.....	139
Tabla 57 Resumen de resultados de las propiedades físicas del agregado fino y vidrio	140
Tabla 58 Resumen de resultados de las propiedades mecánicas del agregado fino y vidrio	141
Tabla 59 Dosificación al peso	147
Tabla 60 Dosificación al peso de los materiales para mezcla seca	147
Tabla 61 Peso de los materiales para elaborar 12 adoquines	149
Tabla 62 Resumen de cantidad de materiales para 12 adoquines	151
Tabla 63 Resumen de cantidad de materiales para el proyecto de tesis	151
Tabla 64 Resultados de los ensayos a compresión de la mezcla patrón a los 7,14 y 28 días	152
Tabla 65 Resultados de los ensayos a compresión de la mezcla reemplazando el 10% del agregado fino con vidrio a los 7,14 y 28 días	153
Tabla 66 Resultados de los ensayos a compresión de la mezcla reemplazando el 20% del agregado fino con vidrio a los 7,14 y 28 días	154
Tabla 67 Resultados de los ensayos a compresión de la mezcla reemplazando el 30% del agregado fino con vidrio a los 7,14 y 28 días	155



Tabla 68 Comparación de resultados de la resistencia obtenida a los 7 días de todas las mezclas.....	156
Tabla 69 Comparación de resultados de la resistencia obtenida a los 14 días de todas las mezclas.....	156
Tabla 70 Comparación de resultados de la resistencia obtenida a los 28 días de todas las mezclas.....	157
Tabla 71 Resultados de absorción de adoquines con 0% de vidrio reciclado.....	159
Tabla 72 Resultados de absorción de adoquines con 10% de vidrio reciclado.....	159
Tabla 73 Resultados de absorción de adoquines con 20% de vidrio reciclado.....	160
Tabla 74 Resultados de absorción de adoquines con 30% de vidrio reciclado.....	160
Tabla 75 Resultados de dimensionamiento y variación longitudinal al 0% y 10%	162
Tabla 76 Resultados de dimensionamiento y variación longitudinal al 20% y 30%	163
Tabla 77 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 0% de vidrio molido a los 7 días.....	165
Tabla 78 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 0% de vidrio molido a los 14 días.....	165
Tabla 79 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 0% de vidrio molido a los 28 días.....	166
Tabla 80 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 10% de vidrio molido a los 7 días.....	166
Tabla 81 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 10% de vidrio molido a los 14 días.....	167
Tabla 82 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 10% de vidrio molido a los 28 días.....	167
Tabla 83 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 20% de vidrio molido a los 7 días.....	168
Tabla 84 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 20% de vidrio molido a los 14 días.....	168
Tabla 85 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 20% de vidrio molido a los 28 días.....	169
Tabla 86 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 30% de vidrio molido a los 7 días.....	169
Tabla 87 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 30% de vidrio molido a los 14 días.....	170
Tabla 88 Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 30% de vidrio molido a los 28 días.....	170
Tabla 89 Resumen de resultados de resistencia característica.....	171



Tabla 90 Resumen de resistencia a compresión obtenida a los 28 días	172
Tabla 91 Resumen de costos de producción de adoquines convencionales y los adoquines con 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado como reemplazo de agregado fino, en 1m ² de adoquines $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$	183
Tabla 92 Diferencia en los costos de producción de adoquines convencionales y los adoquines con 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado como reemplazo de agregado fino	183

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Análisis granulométrico del agregado global.....	142
Gráfico 2. Análisis granulométrico del agregado con 10% de vidrio reciclado	144
Gráfico 3. Análisis granulométrico del agregado con 20% de vidrio reciclado	145
Gráfico 4. Análisis granulométrico del agregado con 30% de vidrio reciclado	146
Gráfico 5. Curva resistencia en función del tiempo para la mezcla patrón.....	152
Gráfico 6. Curva resistencia en función del tiempo para la mezcla en donde se ha reemplazado el 10% de agregado fino con vidrio.....	153
Gráfico 7. Curva resistencia en función del tiempo para la mezcla en donde se ha reemplazado el 20% de agregado fino con vidrio.....	154
Gráfico 8. Curva resistencia en función del tiempo para la mezcla en donde se ha reemplazado el 30% de agregado fino con vidrio.....	155
Gráfico 9. Comparación de las resistencias a compresión a 7, 14 y 28 días	157
Gráfico 10. Comparación de las curvas de resistencias a compresión a 7, 14 y 28 días	158
Gráfico 11. Curva % de absorción en función de la inclusión del vidrio	160
Gráfico 12. Curva resistencia característica en función del tiempo.....	171

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Módulo de Fineza	32
Ecuación 2: Peso Unitario o masa unitaria.....	34
Ecuación 3: Peso específico	35
Ecuación 4: Capacidad de absorción	36
Ecuación 5: Contenido de humedad	37
Ecuación 6: T de Student.....	81
Ecuación 7: Varianza ponderada	82



Ecuación 8: Grado de libertad.....	82
Ecuación 9: Contenido de humedad	92
Ecuación 10: Peso específico relativo	99
Ecuación 11: Área neta.....	127
Ecuación 12: Resistencia a compresión.....	127
Ecuación 16: Cantidad de cemento.....	148
Ecuación 17: Cantidad de agua	148
Ecuación 18: Cantidad de arena	148
Ecuación 19: Relación entre pesos específicos sueltos (vidrio/arena)	149
Ecuación 20: Vidrio a ser usado en un 10%.....	150
Ecuación 21: Vidrio a ser usado en un 20%.....	150
Ecuación 22: Vidrio a ser usado en un 30%.....	150
Ecuación 23: Ecuación del valor dimensional	161
Ecuación 24: Desviación estándar de la resistencia característica.....	164
Ecuación 25: Ecuación de la resistencia característica	164
Ecuación 26: T de Student para 10% de vidrio reciclado	173
Ecuación 27: Varianza ponderada para el 10% de vidrio reciclado	173
Ecuación 28: Grado de libertad para el 10% de vidrio reciclado.....	173
Ecuación 29: T de Student para 20% de vidrio reciclado	176
Ecuación 30: Varianza ponderada para el 20% de vidrio reciclado	176
Ecuación 31: Grado de libertad para el 20% de vidrio reciclado.....	176
Ecuación 32: T de Student para 30% de vidrio reciclado	179
Ecuación 33: Varianza ponderada para el 30% de vidrio reciclado	179
Ecuación 34: Grado de libertad para el 30% de vidrio reciclado.....	179

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1: Cantera y puente del rio Malcomayo aguas arriba	190
Fotografía N° 2: Cantera y puente del rio Malcomayo aguas abajo.....	190
Fotografía N° 3: Separación y recojo de la muestra de Cantera.....	191
Fotografía N° 4: Secado de la muestra de Cantera	191
Fotografía N° 5: Ensayo Peso unitario suelto (PUS)	192
Fotografía N° 6: Ensayo Peso unitario compactado (PUC)	192
Fotografía N° 7: Ensayo Peso específico del vidrio.....	193
Fotografía N° 8: Ensayo granulometría de agregado	193
Fotografía N° 9: Muestras de la granulometría de agregado.....	194
Fotografía N° 10: Muestras de la granulometría del agregado con vidrio reciclado	194
Fotografía N° 11: Trabajo de separación y preparación del agregado fino	195



Fotografía N° 12: Trabajo de lavado agregado fino	195
Fotografía N° 13: Instrumentos y herramientas para producción de adoquines.....	196
Fotografía N° 14: Trabajo preparación de vidrio reciclado.....	196
Fotografía N° 15: Trabajo de trituración de vidrio reciclado	197
Fotografía N° 16: Trabajo de trituración de vidrio reciclado por el tamiz N° 4.....	197
Fotografía N° 17: Producción de adoquines con 0% de vidrio reciclado.....	198
Fotografía N° 18: Producción de adoquines con 10% de vidrio reciclado.....	198
Fotografía N° 19: Adición de aditivo para 0%, 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado....	199
Fotografía N° 20: Producción para 0%, 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado.....	199
Fotografía N° 21: Producción para 0%, 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado.....	200
Fotografía N° 22: Producción de adoquines con 0% de vidrio reciclado.....	200
Fotografía N° 23: Producción para 0%, 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado.....	201
Fotografía N° 24: Preparación de cal para curado de adoquines	201
Fotografía N° 25: Disolución para curado de adoquines	202
Fotografía N° 26: Desmolde para adoquines	202
Fotografía N° 27: Preparación para recapeo de adoquines.....	203
Fotografía N° 28: Ensayo de medición dimensional de adoquines.....	203
Fotografía N° 29: Ensayo compresión a los 7 días de adoquines	204
Fotografía N° 30: Ensayo compresión a los 7 días de adoquines	204
Fotografía N° 31: Muestras fracturadas a los 7 días de adoquines	205
Fotografía N° 32: Colocación de molde para ensayo compresión a los 14 días	205
Fotografía N° 33: Ensayo compresión a los 14 días de adoquines	206
Fotografía N° 34: Visita inopinada del Mgtr. Ing. Hernán Pedro Martínez Ramos	206
Fotografía N° 35: Ensayo de rotura a compresión a los 14 días de adoquines	207
Fotografía N° 36: Muestras preparadas para rotura a la compresión a los 28 días.	207
Fotografía N° 37: Ensayo compresión a los 28 días de adoquines	208
Fotografía N° 38: Lectura de datos para rotura a compresión a los 28 días	208
Fotografía N° 39: Ensayo en laboratorio de geo mecánica y mecánica de rocas de la UNAP	209
Fotografía N° 40: Equipo para ensayo de rotura a compresión a los 28 días.	209
Fotografía N° 41: Preparación de adoquín a ensayo a compresión a los 28 días.....	210
Fotografía N° 42: Inmersión completa de adoquines para ensayo de absorción	210
Fotografía N° 43: Extracción y secado de adoquines del agua a las 24 horas	211
Fotografía N° 44: Realización del pesado respectivo de las muestras	211
Fotografía N° 45: Retiro de muestras de los adoquines para ensayo de absorción.....	212
Fotografía N° 46: Ventilación y enfriado de los adoquines para absorción	212



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Tabla de resistencia promedio a la compresión.....	213
Anexo N° 2: Tabla de selección de asentamiento	213
Anexo N° 3: Tabla de volumen unitario de agua	214
Anexo N° 4: Tabla de contenido de aire atrapado	214
Anexo N° 5: Tabla de relación agua-cemento por resistencia	214
Anexo N° 6: Tabla de apuntes	215
Anexo N° 7: Mapa de ubicación geográfica del lugar de investigación.....	216
Anexo N° 8: Certificado de laboratorio de diseño de mezcla	217
Anexo N° 9: Certificado de rotura de compresión de adoquines	221
Anexo N° 10: Certificado de absorción de adoquines	228



RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo, tratar el vidrio reciclado para la producción de adoquines en pavimentos articulados; para lo cual se determinó las propiedades físicas y mecánicas a los componentes de los adoquines, para analizar la producción en pavimentos articulados, según diseño de mezcla empleando el método de Agregado Global para obtener la resistencia a la compresión del diseño especificada de $f'c=280$ kg/cm², a diferentes proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado en reemplazo del agregado fino, para luego comparar el costo de producción de estos con diferentes mezclas realizadas.

Los ensayos que se emplearon para determinar las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino y el vidrio fueron ensayos de acuerdo a las normas ASTM y NTP cumpliendo los parámetros estipulados, estos datos fueron empleados para el diseño de mezcla $f'c=280$ kg/cm². Mediante este diseño de mezcla, se realizó la mezcla patrón para la producción de adoquines convencionales; posteriormente la mezcla modificada para la producción de adoquines a proporciones de: 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado.

El procedimiento de la producción de los adoquines se realizó en forma lineal, a proporciones de diseño, tal como sigue: Para adoquines con mezcla patrón al 0% de vidrio la proporción será: 1:3.1 - C:A. Para para adoquines con mezcla adicionada al 10% de vidrio la proporción será: 1:2.80:0.29 - C:A:V. Para para adoquines con mezcla adicionada al 20% de vidrio la proporción será: 1:2.51:0.59 - C:A:V. Para para adoquines con mezcla adicionada al 30% de vidrio la proporción será: 1:2.21:0.88 - C:A:V.

Posterior a la producción de los adoquines, se realizó los requisitos físicos según los ensayos a la compresión, absorción y la variación dimensional para los adoquines con 0%, 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado.

El ensayo de la resistencia a la compresión encontrándose los siguientes datos promedios de 4 unidades muestrales a diferentes tiempos de 7, 14 y 28 días.

A los 7 días se obtuvo una resistencia promedio de: 267.08 kg/cm² para adoquines con 0% de vidrio reciclado, 221.05 kg/cm² para adoquines con 10% de vidrio reciclado, 242.43 kg/cm² para adoquines con 20% de vidrio reciclado y 280.88 kg/cm² para adoquines con 30% de vidrio reciclado.

A los 14 días se obtuvo una resistencia promedio de: 306.86 kg/cm² para adoquines con 0% de vidrio reciclado, 290.58 kg/cm² para adoquines con 10% de vidrio reciclado, 299.45



kg/cm² para adoquines con 20% de vidrio reciclado y 335.67 kg/cm² para adoquines con 30% de vidrio reciclado.

A los 28 días se obtuvo una resistencia promedio de: 340.11 kg/cm² para adoquines con 0% de vidrio reciclado, 313.47 kg/cm² para adoquines con 10% de vidrio reciclado, 329.25 kg/cm² para adoquines con 20% de vidrio reciclado y 337.22 kg/cm² para adoquines con 30% de vidrio reciclado.

Para el ensayo de absorción tendrá que cumplir como requisito de 7.50% de absorción máxima, y se usaron 3 unidades muestrales para diferentes proporciones de: 0%, 10%, 20 % y 30% con vidrio reciclado, encontrándose los siguientes resultados promedios de absorción: Adoquines con 0% de vidrio reciclado se tuvo una absorción de 5.96%, adoquines con 10% de vidrio reciclado se tuvo una absorción de 5.32%, adoquines con 20% de vidrio reciclado se tuvo una absorción de 6.29% y adoquines con 30% de vidrio reciclado se tuvo una absorción de 7.42%, cumpliendo con la norma NTP 399.611.

Para el ensayo de variación dimensional se realizaron a todos los adoquines elaborados ya sea a los 7, 14 y 28 días respectivamente, encontrándose valores promedio de variación como sigue: Longitud de 1.39 mm estando dentro de la tolerancia dimensional de 1.60 mm, ancho de 1.42 mm estando dentro de la tolerancia dimensional de 1.60 mm y espesor de 0.06 mm estando dentro de la tolerancia dimensional de 3.20 mm, cumpliendo con la norma NTP 399.611.

Palabras claves: Producción de adoquines, vidrio reciclado, pavimentos articulados, resistencia a la compresión, diseño de mezcla.

Correo: luisitoman.2505@gmail.com



ABSTRACT

The objective of the research was to treat recycled glass for the production of paving stones in articulated pavements; for which the physical and mechanical properties were determined to the components of the paving stones, to analyze the production in articulated pavements, according to the design of the mixture using the Global Aggregate method to obtain the compressive strength of the specified design of $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, at different proportions of: 0%, 10%, 20% and 30% of recycled glass in replacement of the fine aggregate, to then compare the production cost of these with different mixtures made. The tests that were used to determine the physical and mechanical properties of the fine aggregate and the glass were tests according to the ASTM and NTP standards fulfilling the stipulated parameters, these data were used for the design of the mixture $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$. Through this mixing design, the master mix was made for the production of conventional pavers; subsequently the modified mixture for the production of paving stones in proportions of: 10%, 20% and 30% of recycled glass.

The process of the production of the paving stones was carried out in a linear way, at design proportions, as follows: For paving stones with a 0% glass masterbatch, the ratio will be: 1: 3.1 - C: A. For paving stones with a mixture added to 10% glass, the ratio will be: 1: 2.80: 0.29 - C: A: V. For paving stones with mixed addition to 20% of glass the proportion will be: 1: 2.51: 0.59 - C: A: V. For paving stones with a mixture added to 30% glass, the ratio will be: 1: 2.21: 0.88 - C: A: V.

After the production of the paving stones, the physical requirements were carried out according to the compression, absorption and dimensional variation tests for the cobblestones with 0%, 10%, 20% and 30% of recycled glass.

The compression resistance test found the following average data of 4 sample units at different times of 7, 14 and 28 days.

After 7 days, an average strength of: 267.08 kg/cm^2 was obtained for paving stones with 0% recycled glass, 221.05 kg/cm^2 for paving stones with 10% recycled glass, 242.43 kg/cm^2 for paving stones with 20% recycled glass and 280.88 kg/cm^2 for paving stones with 30% recycled glass.

After 14 days, an average resistance of 306.86 kg/cm^2 was obtained for paving stones with 0% recycled glass, 290.58 kg/cm^2 for paving stones with 10% recycled glass, 299.45 kg/cm^2 for paving stones with 20% recycled glass, and 335.67 kg/cm^2 for paving stones with 30% recycled glass.

After 28 days, an average strength of: 340.11 kg/cm^2 was obtained for paving stones with 0% recycled glass, 313.47 kg/cm^2 for paving stones with 10% recycled glass, 329.25



kg/cm² for paving stones with 20% recycled glass and 337.22 kg/cm² for paving stones with 30% recycled glass.

For the absorption test, it will have to meet the requirement of 7.50% maximum absorption, and 3 sample units were used for different proportions of: 0%, 10%, 20% and 30% with recycled glass, with the following average absorption results being found : Cobbles with 0% recycled glass had an absorption of 5.96%, paving stones with 10% recycled glass had an absorption of 5.32%, paving stones with 20% recycled glass had an absorption of 6.29% and paving stones with 30% of recycled glass an absorption of 7.42% was had, fulfilling the norm NTP 399.611.

For the dimensional variation test, all the paving stones were made at either 7, 14 and 28 days respectively, finding average values of variation as follows: Length of 1.39 mm being within the dimensional tolerance of 1.60 mm, width of 1.42 mm mm being within the dimensional tolerance of 1.60 mm and thickness of 0.06 mm being within the dimensional tolerance of 3.20 mm, complying with the norm NTP 399.611.

Keywords: Production of paving stones, recycled glass, articulated flooring, compression resistance, mix design.

Email: luisitoman.2505@gmail.com



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, cualquier tipo de civilización siempre ha tenido la necesidad de contar con vías de comunicación de buena calidad, pues de ello dependen muchos aspectos, uno de ellos y el más importante es el crecimiento económico. Cualquier nación, que no cuente con vías de comunicación suficientes o en excelentes condiciones, se verá limitada en cuanto a su crecimiento, pues se debe tener en cuenta que las vías de comunicación son el principal activo de una sociedad.

Actualmente y pese a los avances científicos y tecnológicos, no se cuenta con excelentes superficies de rodamiento, esto es más notable en los países subdesarrollados en donde la cultura de calidad no ha tenido un gran auge o donde la inversión en infraestructura no ha sido suficiente.

Nuestro país, en particular padece de un enorme problema al no poder cubrir la necesidad de contar con calles y avenidas en excelentes condiciones ocasionando con ello grandes pérdidas a la población, tales como son accidentes, descomposturas, tránsito lento, encharcamientos, etc.; diversos son los factores que contribuyen a la proliferación de dicho problema, tales factores pueden encontrarse relacionados al costo y calidad de los trabajos de construcción, otros factores relacionados son la corrupción y la cultura de la sociedad, surgiendo así la necesidad de resolver el problema de forma práctica y factible sin comprometer el concepto de calidad.

La ciudad de Puno, se encuentra bajo un gran rezago en cuanto a la integración de nuevos métodos y técnicas de construcción, no se ha podido consolidar los conocimientos existentes en cuanto a los materiales de construcción y su correcta aplicación, como ejemplo tenemos las deficientes superficies de rodamiento existentes en nuestra ciudad y sus alrededores.

Es bien sabido que dentro de los factores que influyen en la conservación de superficies de rodamiento en calles y avenidas, son las partidas presupuestales que tienen las instituciones locales del estado, las cuales en la mayoría de los casos no son debidamente administrados, y por lo tanto los recursos económicos no alcanzan a cubrir trabajos de reparación y mantenimiento de los pavimentos.

Por lo anteriormente citado, se hace énfasis al uso de adoquines como alternativa de pavimentación, por sus características técnicas y económicas que lo convierten en un método factible de construcción, solucionando en parte la problemática de los costos y tiempos de reparación. Aunado a lo anterior, hacer uso de concreto con vidrio reciclado



para fabricar adoquín, lo convierte en un material más atractivo para dar solución a los problemas mencionados con las superficies de rodamiento.

La evolución de los residuos generados por la humanidad ha venido de la mano con sus avances tecnológicos; es por esta razón que surge una nueva necesidad que consiste en resolver la correcta disposición de residuos y su reciclaje. En nuestro país el tema de residuos de materiales de construcción solo se limita a la disposición de estos en vertederos autorizados o en su mayoría clandestinos, aun no existe plena conciencia de las consecuencias que esto puede traer en nuestra sociedad.

El presente trabajo de investigación pretende, encontrar una solución práctica y factible a las deficiencias encontradas comúnmente en calles, veredas, parques recreacionales y pasos peatonales, mediante el uso de vidrio molido como agregado natural en cierto porcentaje para la producción de adoquines.

Establecidos los lineamientos para la elaboración de proyectos de investigación, el siguiente contiene los siguientes capítulos como ayuda al lector en su comprensión:

Capítulo I – El Problema

Se hace énfasis al análisis de la situación problemática, al planteamiento del problema; en el cual se presenta el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación, la justificación del estudio y la respectiva hipótesis, así como la operacionalización de las variables de la investigación.

Capítulo II – Marco Teórico

Se basa en los antecedentes del estudio, así como la parte teórica y conceptual sobre los conocimientos acerca del concreto, el vidrio; para su empleo y producción de adoquines para pavimentos articulados

Se redactan algunas generalidades y conceptos, en cuanto al costo de producción, proceso elaboración de los adoquines, diseño de mezcla del adoquín, para posteriormente conceptualizar las propiedades físicas y mecánicas de los componentes y/o materiales empleados para los adoquines.

Capítulo III – Metodología de la investigación

Se describe el tipo y nivel de investigación que se empleó en dicho estudio.

Se detalla una lista de todas las diferentes técnicas e instrumentos empleadas para la presente investigación, así también una descripción detallada de los métodos ingenieriles normalizados.

Se menciona los procedimientos a llevar a cabo; en el desarrollo de la presente investigación.

Capítulo IV – Análisis y Cálculos

Se muestran todos los cálculos realizados a los diferentes ensayos aplicados a los adoquines a fin de cumplir con las normas NTP y ASTM.

Posteriormente, en la parte práctica, se obtienen las características físicas de los agregados y vidrios reciclados, para después elaborar el diseño de mezcla y así con ello poder fabricar los adoquines.

Se desarrolla los análisis de costos unitarios para la producción de los adoquines y su comparación con la producción de adoquines convencionales.

Capítulo V – Resultados y Discusión

Se interpretan los resultados de los datos obtenidos, para los diferentes ensayos realizados a los componentes de los adoquines y la producción de los mismos para así cumplir con los requisitos técnicos mínimos para su elaboración de adoquines.

Conclusiones y Recomendaciones

Se mencionan las respectivas conclusiones y recomendaciones a los que se obtuvieron para luego analizar e interpretar los datos obtenidos en el presente trabajo de investigación y sobre la factibilidad del uso de vidrio molido como agregado natural en la fabricación de adoquines

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La acumulación de residuos sólidos han sido un problema en estos últimos años, debido al alto crecimiento poblacional y poco reciclado de materiales y residuos sólidos, generando una elevada contaminación al medio ambiente; por lo tanto, es necesario desarrollar nuevas técnicas para el reciclado de materiales, con la finalidad de preservar los recursos naturales y de mantener en equilibrio el medio ambiente que nos rodea.

El crecimiento demográfico y las migraciones campesinas a las ciudades han inducido a la proliferación de residuos sólidos, como resultado de todas las actividades de los seres humanos.

En el entorno se generan grandes cantidades de residuos de vidrio y, por tratarse de productos no biodegradables, se presenta la necesidad de ser reciclados y darles una adecuada reutilización.

En cuanto a su destino, los restos de vidrio pueden ir a rellenos sanitarios, terrenos no controlados, ser reutilizados por algunas industrias para diferentes procesos que no cumplen con los requerimientos de salubridad básicos, acumulados en campo abierto generando una proliferación de insectos, produciendo contaminación y graves perjuicios al medio ambiente.

Se localizan dentro de este marco general las basuras que, aunque se han producido siempre en el transcurrir de la vida de los hombres y de los pueblos, no constituían un problema porque se disponía de éstas a medida que las iban produciendo. La mayor parte era de tipo orgánico, lo que facilitaba su utilización como alimento para animales o para fabricación de abonos orgánicos.

Por otra parte, la producción para artículos de consumo era de bajo volumen y larga duración, muchos de ellos biodegradables como los empaques. Era la época en que el hombre tenía una relación armónica con la naturaleza.

La congestión de estos espacios urbanos se hizo cada vez mayor y aumentaron de manera significativa los envases y empaques usados de vidrio, metal, plástico y desperdicios orgánicos, que al no tener reutilización o aprovechamiento se convirtieron en esa carga social de las ciudades denominada basura.

Debido a que este tipo de basura (vidrio) está inundando las ciudades, contaminando el medio ambiente, alterando el equilibrio ecológico y su reutilización no es la más adecuada, decidimos darle un nuevo uso, como agregado para los adoquines en la aplicación de pavimentos articulados en la ciudad de Puno.

Hoy en día la protección del medioambiente lleva implícita las palabras "recuperación" y/o "reciclado". Los grandes países industrializados son grandes productores de desechos que no se pueden destruir de una manera sencilla y rápida. Los altos costos de eliminación de residuos obligan a los gobiernos a tomar medidas encaminadas a minimizar esos residuos y reducir su dependencia de las materias primas.

Hoy en día en el mundo, la construcción requiere de edificaciones con un gran manejo y aplicación en obra; así como el uso de una alta resistencia a la compresión. Si el caso amerita el uso de aditivos para poder optimizar su calidad y resistencia; obteniendo una estructura lozana.

Actualmente la sociedad no demuestra un respeto hacia el medio ambiente, el problema de los residuos sólidos botados en zonas que no están contempladas, va en aumento a medida que el ser humano lleva una vida bohemia, la mayoría de nosotros empleamos sitios no adecuados para verter la basura; dentro de lo cual se encuentra el vidrio. Un 9% es vidrio sódico cálcico (fuente: Diario La República) que es el vidrio más común, utilizado para hacer ventanas, lentes, botellas, entre otros, el cual se encuentra en la basura, este problema se agrava en la población debido que a veces utilizamos ríos u orillas como vertederos clandestinos depositando los desperdicios y contribuyendo inconscientemente a la contaminación ambiental.

Estudios certeros del ingeniero civil y ambiental Parviz Soroushian de la Universidad de Michigan (MSU) en EE.UU. indican que el vidrio sódico cálcico puede ser reutilizado dándonos un increíble beneficio mezclándolo con el cemento, arena, piedra y agua, obteniendo un concreto con mayor grado de resistencia a la compresión, más durable y menor grado de absorción, en su estado endurecido, no obstante originando un óptimo recubrimiento para el acero y del mismo modo una superestructura sumamente más rígida.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el tratamiento del vidrio reciclado para la producción de adoquines en pavimentos articulados de la ciudad de Puno?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los componentes para la producción de adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado en pavimentos articulados?
2. ¿Por qué analizar la producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado, según diseño de mezcla $f'c=280$ kg/cm²?
3. ¿Cuál es el costo comparativo de la producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Tratar el vidrio reciclado para la producción de adoquines en pavimentos articulados de la ciudad de Puno.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los componentes para la producción de adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado en pavimentos articulados.
2. Analizar la producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado, según diseño de mezcla $f'c=280$ kg/cm², para obtener la resistencia de compresión a los 7, 14 y 28 días.
3. Elaborar el costo comparativo de la producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado.

1.3.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

1.3.3.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La ejecución de la investigación del tratamiento del vidrio reciclado, para las propiedades físico mecánicas de los componentes de los adoquines se realizaron en el laboratorio de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" – Filial Puno, todos los ensayos de acuerdo con las normas y reglamentos del concreto de NTP y ASTM; para un diseño de mezcla de $f'c=280\text{kg/cm}^2$.

La presente investigación tiene como finalidad; la producción de adoquines con una composición alterna a la tradicional, empleando el vidrio reciclado como si fuese un agregado fino; con la finalidad de hacer un eficiente manejo de los recursos naturales y se realiza los siguientes ensayos de: Resistencia a la compresión, absorción y variación dimensional de los adoquines a 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado.

1.3.3.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

La producción de adoquines, tiene un procedimiento fácil y sencillo de elaborar un concreto con alta resistencia y durable en el tiempo; para las construcciones de nuestra actualidad. Los gastos a realizar en cuanto al uso del vidrio son menores, porque simplemente se utiliza el vidrio reciclado molido en la incorporación de agregado fino para la mezcla del concreto en los adoquines, donde el vidrio se encuentra en las tiendas de vidrierías que frecuentemente tienen desperdicios de vidrio que se junta como basura.

Cualquier actividad en construcciones está ligado a un costo económico y en el caso de la producción de los adoquines, la resistencia requerida del adoquín puede optimizarse económicamente; si se conoce y maneja adecuadamente las variables que influyen la resistencia del adoquín; por lo que logrando determinar una óptima granulometría para el agregado fino en la producción adoquines, es posible obtener una óptima resistencia bajo un determinado análisis de costo unitario en la producción de los adoquines.

1.3.3.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Los adoquines con la incorporación de los vidrios reciclados molidos nos generan unos adoquines óptimos y adecuados, y son accesibles para las obras de pavimentación dentro de la ciudad de Puno, donde brinda la optimización y garantía, para la interacción de forma favorable con la naturaleza y la sociedad misma.

Uno de los principales beneficios que se obtiene en la ejecución de pavimentos articulados será la ocupación de un alto componente de mano de obra calificada y no calificada. Dentro de los proyectos de infraestructura vial, los proyectos de pavimentos articulados son los que menor uso de maquinaria pesada requiere. Por esta razón, una de las condiciones indispensables para ejecutar el adoquinado; es desarrollar el proyecto en un área donde se ubiquen ciudades debidamente organizadas, para garantizar la participación activa de los beneficiarios tanto para la ejecución de las vías con adoquines, para luego realizar el mantenimiento y conservación del mismo.

1.3.3.4. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

La presente investigación tiene fundamento especial con la conservación de nuestro medio ambiente dentro de la ciudad de Puno, el cual mediante la recolección del vidrio reciclado proveniente de tiendas vidrieras, y el tratamiento de estos se reduciría de una manera considerable la contaminación ambiental del suelo, teniendo en un futuro la necesidad de producir adoquines con vidrio reciclado molido; como solución al problema de un impacto ambiental.

Nos debemos preguntarnos ¿cuál será la mejor manera de reusar este material actualmente desechado?, por obvias proporciones lo más conveniente es su reciclado. Una vez inservible o simplemente roto el vidrio ya no puede ser reutilizado, sin embargo, este puede ser reciclado, bien podría ser para su reprocesamiento para fabricar vidrio nuevamente o como alternativa para la producción en adoquines o similares.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

El tratamiento del vidrio reciclado para la producción de adoquines tendrá directa aplicación en pavimentos articulados de la ciudad de Puno.

1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Las propiedades físicas y mecánicas de los componentes, satisfacen los requisitos para la producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30 % con vidrio reciclado en pavimentos articulados, según fijados por N.T.P. y A.S.T.M.
2. La producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado; según diseño de mezcla $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, obtendrán satisfactoriamente la resistencia de concreto a los 7, 14 y 28 días, según disposición de la N.T.P.
3. El costo producción de los adoquines a proporciones de: 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado, comparando con el costo de producción de los adoquines con 0% de vidrio reciclado serán relativamente bajas.

1.4.3. VARIABLES

Variable Independiente:

Tratamiento del vidrio reciclado.

Variable Interviniente:

Aplicación de 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado.

Variable Dependiente:

Producción de adoquines en pavimentos articulados.

1.4.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable Independiente: Tratamiento del vidrio reciclado.

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
El tratamiento del vidrio reciclado en la producción de adoquines con adición de vidrio reciclado molido es una mezcla de agua, cemento, agregado, y un porcentaje de vidrio molido en reemplazo parcial del agregado, con el objeto de analizar su influencia en la resistencia a la compresión.	Concreto	Resistencia a la compresión (f'c)	¿Qué dosificación nos garantiza un concreto con adecuada resistencia a la compresión?	Ensayos de laboratorio. Normas NTP, ASTM.
	Vidrio	Calidad	¿Cuáles son las características del vidrio para ser empleado en mezclas de concreto?	Investigación bibliográfica y experimental.
		Cantidad	¿Cuál es el porcentaje óptimo para elaborar concreto?	Ensayos de laboratorio. Análisis y comparación de resultados.

Fuente: Elaboración propia.

Variable Dependiente:

Producción de adoquines en pavimentos articulados.

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
La producción de adoquines en pavimentos articulados tendrá la resistencia a la compresión que es la carga axial de compresión máxima alcanzada en la sección de adoquín hasta la falla.	Producción de adoquines	Calidad	¿Cuál será la calidad de la muestra de concreto?	Observación Normas NTP, ASTM
		Muestreo	¿Cuál es el asentamiento mínimo en el cono de Abrams?	Normas NTP, ASTM
	Ensayo de compresión	Área	¿Cuál es el tamaño nominal de la muestra?	Normas NTP, ASTM.
		Equipo Materiales	¿Qué equipo y materiales se debe usar para elaborar y ensayar la muestra de concreto?	Normas NTP, ASTM

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Existen pocas investigaciones, sobre el tema de investigación dentro del País. Pero si se hicieron investigaciones similares en los países de Chile y Ecuador. Como se detalla a continuación:

2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL

1. Catalán, C. en la Tesis: "Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20 y H30", tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Valdivia, Chile (2013).

RESUMEN: "Este trabajo pone en prueba la reutilización del vidrio desechado, considerándolo como un árido más, reemplazando una cantidad de arena. Presentó como objetivo general estudiar la influencia de la adición de vidrio sobre la resistencia mecánica del concreto, de grados H15, H20 y H30 ...se confeccionaron mezclas de concreto de prueba, con porcentajes variables de vidrio en reemplazo de una fracción de la arena, en muestras cúbicas de 15 cm de arista, según los procedimientos indicados en la Norma Chilena NCh1018.EOf77, las que posteriormente fueron ensayadas a compresión según NCh1037.Of77, determinando así su resistencia... transcurridos los 28 días desde la fecha de elaboración de las muestras, éstas fueron ensayadas a compresión. Las resistencias que se obtuvieron fueron comparadas con la resistencia de mezclas de concretos patrones, sin adición de vidrio" (Catalán, 2013).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES: "Los resultados mostraron que el concreto con adición de vidrio, mantiene prácticamente inalterable sus propiedades, tanto en estado fresco como endurecido, se observó un ligero aumento en la resistencia de las mezclas con un 20% de agregado de vidrio,

resultado que es consistente con estudios previos... este trabajo sirvió como aporte a la investigación porque se implementó el vidrio molido como sustituto parcial de un material que compone la mezcla de concreto, tocando además puntos similares como lo son los ensayos de resistencia y comparaciones entre ambas mezclas, el patrón y la modificada" (Catalán, 2013).

2. Almeida J. y Trujillo C. en la Tesis: "Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones", tesis de grado, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas Y Matemática, Carrera de ingeniería Civil, Quito, Ecuador (2017).

RESUMEN: "El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal analizar el comportamiento del hormigón mediante el reemplazo parcial al peso del agregado fino por vidrio triturado en porcentajes del 30%, 32%, 34%, 36%, 38% y 40% para obtener una resistencia de 21MPa con la finalidad de establecer una comparación entre un hormigón convencional y un hormigón con adición de vidrio triturado y a la vez contribuir al uso de materiales reciclables. Mediante el ensayo realizado en las distintas probetas de hormigón se obtuvo los valores de la resistencia a la compresión para edades de 7, 14, y, 28 días. Los resultados obtenidos nos permiten determinar que la mezcla en donde se reemplazó el 36% de agregado fino por vidrio triturado nos permite obtener la resistencia de diseño a edades tempranas además de proveer mejor trabajabilidad y adherencia en sus componentes, estableciendo de esta manera que el vidrio triturado puede ser empleado como un material que aporte al desarrollo de la Construcción Sostenible... la elaboración del hormigón con vidrio triturado presenta varios beneficios y ventajas al ser un material reciclado reduce la explotación de agregados en este caso la arena y la contaminación del medio ambiente, el vidrio puede tardar hasta 4000 años en degradarse además de ser un elemento que no contiene material orgánico con el procedimiento adecuado de desinfección, a diferencia de la arena que puede contener pequeñas cantidades siendo perjudicial para las propiedades del hormigón" (Almeida & Trujillo, 2017).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES: "La trabajabilidad de la mezcla de hormigón con el reemplazo parcial de la arena por el vidrio triturado mejora sutilmente conforme se aumenta el porcentaje de vidrio al tener este la propiedad de ser impermeable, a diferencia de la arena que absorbe el excedente de agua...el asentamiento de las mezclas con vidrio triturado varia

ligeramente conforme se aumenta el porcentaje de vidrio esto es por el excedente de agua liberada que no es absorbida por los demás materiales.

2.1.2. A NIVEL NACIONAL

1. Guerson, W. "Influencia del vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto y costos de fabricación, comparado con el concreto convencional, Barranca-2016", Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Académico Profesional De Ingeniería Civil Huaraz – Perú (2017).

RESUMEN: "La investigación tuvo como objetivo evaluar la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto $f'c$ 210 kgf/cm² sustituyendo 5%, 10%, 15% del cemento portland por vidrio molido, se determinó la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto convencional y luego se procedió a comparar las características mecánicas de ambas mezclas. Para el concreto, se utilizó un diseño de mezcla $f'c$ 210 kgf/cm²; mediante el diseño de mezcla se realizó tanto la mezcla convencional como la mezcla modificada donde se sustituyó el 5%, 10%, 15% del peso del cemento Portland por vidrio molido. El procedimiento se inició elaborando las probetas de concreto convencional para luego elaborar las probetas de concreto modificado. El ensayo realizado fue el de Resistencia a la Compresión a los 7, 14, 21 y 28 días basado en el Reglamento Nacional De Edificaciones" (Guerson, 2017).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES: "Al finalizar los ensayos de resistencia se determinó mediante la distribución t student que para obtener resistencias igual o mayor que el concreto convencional se remplace como máximo el cemento por vidrio hasta un 10% de su peso de acuerdo con esta investigación... existe influencia significativa en la resistencia a la compresión del concreto a los 21 días, empleando vidrio molido, con proporción del 5% como reemplazo del cemento... existe influencia significativa en la resistencia a la compresión del concreto a los 21 días, empleando vidrio molido, con proporción del 10% como reemplazo del cemento Existe influencia significativa en la resistencia a la compresión del concreto a los 14 días, empleando vidrio molido, con proporción del 15% como reemplazo del cemento... no existe influencia significativa en costos de fabricación siendo que empleando vidrio molido con 5%, 10% y 15% el precio levemente aumente en un 1.52%, 3.04%, 4.56% que el concreto convencional" (Guerson, 2017).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. EL CONCRETO

2.2.1.1. INTRODUCCIÓN

Pasquel (1998), menciona que:

“El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción... de esta definición se desprende que se obtiene un producto híbrido, que conjuga en mayor o menor grado las características de los componentes, que bien proporcionados, aportan una o varias de sus propiedades individuales para constituir un material que manifiesta un comportamiento particular y original... en consecuencia, para poder dominar el uso de este material, hay que conocer no sólo las manifestaciones del producto resultante, sino también la de los componentes y su interrelación, ya que son en primera instancia los que le confieren su particularidad” (p. 11).

2.2.1.2. TECNOLOGÍA DEL CONCRETO

Pasquel (1998) afirma:

“Es el campo de la Ingeniería Civil que abarca el conjunto de conocimientos científicos orientados hacia la aplicación técnica, práctica y eficiente del concreto en la construcción... en su desarrollo y utilización intervienen varias ciencias interrelacionadas, como son la Física, la Química, las Matemáticas y la investigación experimental... a diferencia de otros campos de la Ingeniería en que se puede ejercer un control bastante amplio sobre los parámetros que participan en un fenómeno, en la Tecnología del Concreto cada elemento que interviene, bien sea el cemento, el agua, los agregados, los aditivos, y las técnicas de producción, colocación, curado y mantenimiento, representan aspectos particulares a estudiar y controlar de modo que puedan trabajar eficientemente de manera conjunta en la aplicación práctica que deseamos” (p. 12).

2.2.1.3. DEFINICIÓN DEL CONCRETO

Sánchez (1994) define al concreto como:

“En términos generales, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión” (p. 19).

2.2.1.4. LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

Pasquel (1998) señala:

“La Tecnología del concreto moderna define para este material cuatro componentes: Cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo... si bien la definición tradicional consideraba a los aditivos como un elemento opcional, en la práctica moderna mundial estos constituyen un ingrediente normal, por cuanto está científicamente demostrada la conveniencia de su empleo en mejorar condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la larga una solución más económica si se toma en cuenta el ahorro en mano de obra y equipo de colocación y compactación, mantenimiento, reparaciones e incluso en reducción de uso de cemento... ya hemos establecido conceptualmente la necesidad de conocer a profundidad las propiedades de los componentes del concreto, pero debemos puntualizar que, de todos ellos, el que amerita un conocimiento especial es el cemento” (p.13).

Alre = 1 % a 3 %
Cemento = 7 % a 15 %
Agua = 15 % a 22 %
Agregados = 60 % a 75 %

Figura 1. Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto
Fuente: Tópicos de tecnología del concreto en el Perú Pasquel (1998).

2.2.1.5. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO

1. TRABAJABILIDAD

Pasquel (1998) afirma:

“Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian... está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa... el método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el "Slump" o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo, debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump, pero trabajabilidades notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo” (p. 130).

"Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones. No existe prueba alguna hasta el momento que permita cuantificar esta propiedad generalmente se le aprecia en los ensayos de consistencia" (Abanto, 2010, p. 47).

2. SEGREGACIÓN

Pasquel (1998) menciona:

"Las diferencias de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es sólo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz. Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración de la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación. En los concretos con contenidos de piedra > del 55% en peso con respecto al peso total de agregados, es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, lo cual es muy simple de verificar obteniendo dos muestras de concreto fresco de sitios diferentes y comparar el contenido de gruesos por lavado, que no deben diferir en más del 6%" (pp. 139 - 141).

3. EXUDACIÓN

Pasquel (1998) afirma:

"Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto... es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades... está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla No 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla... la exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener" (p. 141).

4. CONTRACCIÓN

Pasquel (1998) afirma:

"Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia... ya hemos visto que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible... pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla... este proceso no es irreversible, ya que, si se repone el agua perdida por secado, se recupera gran parte de la contracción acaecida" (p. 142).

2.2.1.6. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO ENDURECIDO

1. ELASTICIDAD

Pasquel (1998) menciona:

"En forma general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un Módulo de elasticidad estático del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última. Los módulos de Elasticidad normales oscilan entre 250,000 a 350,000 Kg/cm² y están en relación directa con la resistencia en compresión del concreto y en relación inversa con la relación agua/cemento. Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de Elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres. La norma que establece como determinar el Módulo de elasticidad estático del concreto es la ASTM C-469" (pp. 142 - 143).

2. RESISTENCIA

Pasquel (1998) afirma:

“Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento... depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación agua/cemento en peso... la afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto” (p. 143).

3. EXTENSIBILIDAD

Pasquel (1998) concluye:

“Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones... depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo... el flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable, estando relacionado también con la contracción, pese a ser dos fenómenos nominalmente independientes... la microfisuración aparece normalmente alrededor del 60% del esfuerzo último, y a una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales la fisuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria” (p. 145).

2.2.2. COMPONENTES DEL CONCRETO

2.2.2.1. CEMENTO PORTLAND

1. CONCEPTOS GENERALES

Abanto (2010) afirma:

“El cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas” (p. 15).

2. DEFINICIONES

CEMENTO PÓRTLAND

“Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.009, el cemento Pórtland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda, es decir” (Torre, 2004, p. 5):

$$\text{Cemento Pórtland} = \text{Clinker Pórtland} + \text{Yeso}$$

“El cemento Pórtland es un polvo muy fino de color verdoso. Al mezclarlo con agua forma una masa (pasta) muy plástica y moldeable que luego de fraguar y endurecer, adquiere gran resistencia y durabilidad” (Torre, 2004, p. 5).

CEMENTO PÓRTLAND PUZOLÁNICO

Torre (2004) afirma:

“Es aquel cemento que contiene puzolana se obtiene por la pulverización conjunta de una mezcla de clinker Pórtland y puzolana con adición de Sulfato de calcio: El contenido de puzolana debe estar comprendido entre 15 y 40% en peso total. La puzolana debe ser un material arcilloso o silico-aluminoso que por sí mismo puede tener poco o ninguna actividad hidráulica pero que finamente dividida y en presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas” (p. 6).

3. TIPOS DE CEMENTOS

CEMENTOS PÓRTLAND SIN ADICIÓN

“Constituidos por clinker pórtland y la inclusión solamente de un determinado porcentaje de sulfato de calcio (yeso), Aquí tenemos según las Normas Técnicas” (Torre, 2004, p. 14):

- Tipo I: Para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo.
- Tipo II: Para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
- Tipo III: Para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

CEMENTOS PÓRTLAND ADICIONADOS

Torre (2004) señala:

“Contienen además de clinker pòrtland y yeso, 2 o más constituyentes inorgánicos que contribuyen a mejorar las propiedades del cemento. Aquí tenemos según NTP 334.044: Cemento Pòrtland Puzolánico Tipo IP; contenido de puzolana entre 15% y 40% y Cemento Pòrtland Puzolánico Modificado Tipo I (PM); contenido de puzolana menos de 15%” (Torre, 2004, p. 14).

4. FABRICACIÓN DEL CEMENTO PÓRTLAND

Sánchez (1994) afirma:

“Como se ha podido observar, el cemento portland se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como la caliza, y por alúmina sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza. En ocasiones es necesario agregar otros productos para mejorar la composición química de las materias primas principales; el más común es el óxido de hierro” (p. 28).

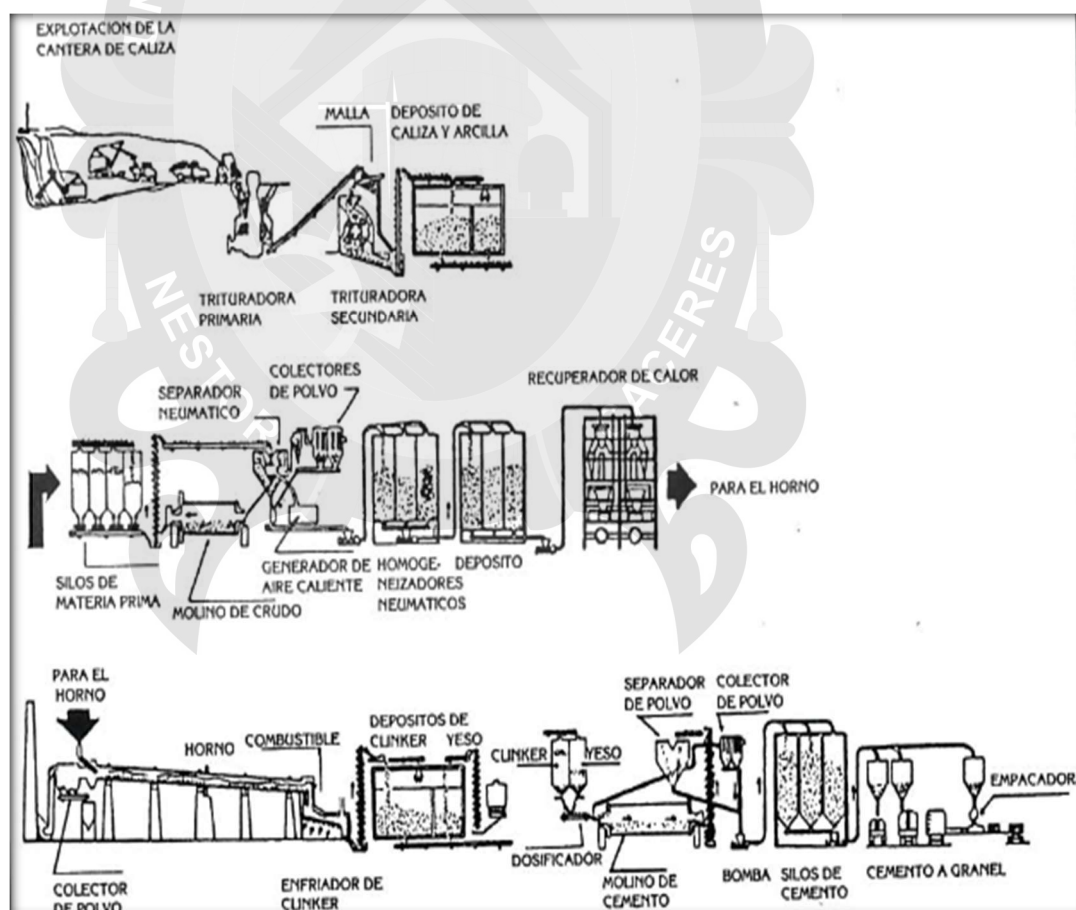


Figura 2. Proceso de fabricación del cemento portland por vía seca.
Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Sánchez (1994).

a. EXPLOTACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Torre (2004) señala que:

"Es la explotación de los yacimientos a tajo abierto. El material resultante de la voladura es transportado en camiones para su trituración, los mismos que son cargados mediante palas o cargadores frontales. Donde comprenden los procesos de exploración, perforación, carguío y acarreo" (p. 6).

b. TRITURACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Torre (2004) menciona que:

"Se procede iniciar en una chancadora primaria, del tipo cono que puede reducirla desde un tamaño 1.5 m hasta los 25 cm (chancado primario). El material se deposita en una cancha de almacenamiento y luego de verificar su composición química, pasa al chancado secundario reduciéndose a tamaños de hasta $\frac{3}{4}$ plg." (p. 6).

c. PRE - HOMOGENIZACIÓN

"El material triturado se lleva a la planta propiamente dicha por cintas transportadoras, depositándose en un parque de materias primas. En algunos casos se efectúa un proceso de pre-homogeneización" (Torre, 2004, p. 7).

d. MOLIENDA DE CRUDOS

"Este proceso se realiza por medio de molinos de bolas o prensas de rodillos que producen un material muy fino además de dosificarse adecuadamente los materiales para lograr un crudo optimo que será el que ingrese al horno" (Torre, 2004, p. 7).

e. HOMOGENIZACIÓN

Torre (2004) afirma que:

"En esta etapa el crudo finamente molido debe ser homogenizado a fin de garantizar que el clínker sea de calidad tratando de asegurar la composición química constante del crudo. Una vez homogenizado este material es transportado mediante fajas transportadoras al intercambiador de calor" (p. 7).

f. INTERCAMBIADOR DE CALOR (PRE CALENTADOR)

Torre (2004) afirma que:

“El crudo que ya fue homogenizado ingresa por el extremo superior de este pre calentador pasando a través de los ciclones quienes captan el calor residual evacuados con los gases de combustión salientes del horno en contracorriente con el flujo del material que ingresa, entonces este crudo que se calienta por acción de los gases generados en el quemador del horno e iniciándose de esta manera el proceso de des carbonatación y transformación termo-químico del crudo” (p. 7).

g. CLINKERIZACIÓN

Torre (2004) señala que:

“Es la zona más importante del horno rotatorio siendo este el elemento fundamental para la fabricación del cemento, se trata de un tubo cilíndrico de acero con diámetros de 4 a 5 m y longitudes de 70 a 80 m los mismos que interiormente se encuentran revestidos interiormente con materiales refractarios para la obtención del clinker se debe alcanzar temperaturas alrededor de los 1,500 °C, el proceso en si es complejo se puede decir que se inicia con el ingreso del crudo descarbonatado al horno rotatorio y que por efecto del calor que genera la combustión del carbón o petróleo en un quemador situado en el extremo de la salida sufre transformaciones físicas y químicas, llegándose a obtener el producto intermedio llamado clínker esto sucede a temperaturas del orden de los 1,400 a 1,450 °C” (pp. 7 - 8).

h. ENFRIAMIENTO

Torre (2004) menciona que:

“No todos los minerales deseados del clinker, hidráulicamente activos, quedan estables después del proceso de clinkerización por lo que es necesario que el clínker caliente deba ser enfriado rápidamente es decir una vez que el clínker es descargado por el horno pasa a la tercera parte del circuito de clinkerización que se dan en los enfriadores” (p. 8).

i. MOLIENDA DEL CLÍNKER

“Mediante un proceso de extracción controlado el clínker entra a los molinos de bolas o prensa de rodillos donde se obtendrá una superficie específica alta de los granos del cemento” (Torre, 2004, p. 9).

j. ENVASADO Y DESPACHO

Torre (2004) señala que:

“Generalmente el cemento se comercializa en bolsas de 42.5 Kg., de acuerdo a los requerimientos del usuario también puede despacharse a granel. Las bolsas, son de papel krap con contenido de hojas, entre dos y cuatro de acuerdo a los requerimientos de transporte o manipuleo” (p. 9).

5. CEMENTO PÓRTLAND TIPO IP

a) DEFINICIÓN

Sánchez (1994) afirma:

“Este cemento es el que se obtiene mediante la pulverización conjunta de clinker portland y puzolana, o de una mezcla íntima y uniforme de cemento portland y puzolana finamente pulverizada, con adición de sulfato de calcio. El contenido de puzolana debe estar comprendido entre el 15% y el 50 % en masa de la masa total” (p. 50).

b) REQUISITOS TÉCNICOS

Tabla 1
Requisitos físicos Obligatorios

Requisitos Físicos	Tipos					
	I	II	V	MS	IP	ICo
Resistencia la Compresión mín Kg/cm ²						
3 días	120	100	80	100	130	130
7 días	190	170	150	170	200	200
28 días	280*	280*	210	280*	250	250
Tiempo de fraguado, minutos						
Inicial, mínimo	45	45	45	45	45	45
Final, máximo	375	375	375	420	420	420
Expansión en autoclave, % máximo	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Resistencia a los Sulfatos % máximo de expansión	--	--	0.04* 14 días	0.10 6meses	0.10* 6meses	--
Calor de Hidratación, máx, KJ/Kg						
7 días	--	290*	--	--	290*	--
28 días	--	--	--	--	330*	--

Fuente: Curso Básico de Tecnología del concreto. Torre (2004).

Tabla 2
Requisitos químicos obligatorios

Requisitos Químicos	Tipo					
	I	II	V	MS	IP	ICo
Óxido de Magnesio (MgO), máx, %	6.0	6.0	6.0	--	6.0	6.0
Trióxido de Azufre (SO ₃), máx, %	3.5	3.0	2.3	--	4.0	4.0
Pérdida por Ignición, máx, %	3.0	3.0	3.0	--	5.0	8.0
Residuo Insoluble, máx, %	0.75	0.75	0.75	--	--	--
Aluminato tricálcico (C ₃ A), máx, %	--	8	5	--	--	--
Álcalis equivalentes (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O), máx, %	0.6*	0.6*	0.6*	--	--	--

Fuente: Curso Básico de Tecnología del concreto. Torre (2004).

c) **CONSISTENCIA NORMAL**

Sánchez (1994) afirma:

"La cantidad de agua que se le agrega al cemento le comunica una determinada fluidez, la cual aumenta al incrementarse el contenido de agua. Existe una determinada fluidez para la cual debe agregarse cierta cantidad de agua. Esta fluidez es lo que se llama consistencia normal" (p. 43).

d) **TIEMPO DE FRAGUADO**

Sánchez (1994) señala:

"Este término se usa para describir el cambio del estado plástico al estado endurecido de una pasta de cemento. Aunque durante el fraguado la pasta requiere de alguna resistencia, para efectos prácticos es conveniente distinguir el fraguado del endurecimiento, pues este último se refiere al aumento de resistencia de una pasta de cemento fraguada" (p. 45).

e) PESO ESPECÍFICO

Torre (2004) menciona:

“El peso específico del cemento corresponde al material en estado compacto. Su valor suele variar, para los cementos pórtland normales, entre 3.0 y 3.2... usualmente en el Perú se considera un valor del orden de 2.86 para los cementos tipo IP e IPM. Su determinación es particularmente necesaria en relación con el control y diseño de las mezclas de concreto. Se sigue las recomendaciones de la Norma ASTM C 188” (p. 12).

2.2.2.2. AGREGADOS

1. INTRODUCCIÓN

Pasquel (1998) menciona:

“Se definen los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente... la denominación de inertes es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad, durabilidad etc.” (p. 69).

2. CONCEPTOS GENERALES

“Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua conforman un todo compacto (piedra artificial) conocido como concreto” (Rivera, 2000, p. 41).

“Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto” (Torre, 2004, p. 43).

3. AGREGADO GLOBAL

Torre (2004) menciona:

“La norma contiene un apéndice y a manera de información acerca de husos granulométricos considerados óptimos, para los proporcionamiento de finos y gruesos en el diseño de mezclas, dentro de los cuales se pueden obtener concretos trabajables y compactos. Esta información tiene carácter de orientación y en ningún caso es prescriptiva... el agregado global es aquel material compuesto de agregado fino y grueso, cuya granulometría cumple con los límites dados en la siguiente Tabla N°3” (p. 54).

Tabla 3
Tamaño nominal del agregado global

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa		
	Tamaño nominal 37.5 mm (1 ½ in)	Tamaño nominal 19.0 mm (¾ in)	Tamaño nominal 9.5 mm (3/8 in)
50 mm (2")	100	---	---
37.5 mm (1 ½")	95 a 100	100	---
19 mm (¾")	45 a 80	95 a 100	---
12.5 mm (½")	---	---	100
9.5 mm (3/8")	---	---	95 a 100
4.75 mm (Nº 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (Nº 8)	---	---	20 a 50
1.18 mm (Nº 16)	---	---	15 a 40
600 µm (Nº 30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300 µm (Nº 50)	---	---	5 a 15
150 µm (Nº 100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*

Fuente: Curso Básico de Tecnología del concreto. Torre (2004).

4. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

“En general los agregados se han clasificado de varias maneras a través del tiempo, pero principalmente desde los puntos de vista de su procedencia, densidad, tamaño, forma y textura” (Rivera, 2000, p. 41).

a) CLASIFICACIÓN SEGÚN SU TAMAÑO

Sánchez (1994) menciona:

“La forma más generalizada de clasificar los agregados es según su tamaño, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros en sección transversal. Esta distribución del tamaño de las partículas es lo que se conoce con el nombre de granulometría. La fracción fina de este material, cuyas partículas tienen un diámetro inferior a 4.76 mm y no menor de 0.074 mm (74 μ m), es lo que comúnmente se llama arena y la fracción gruesa, o sea aquellas partículas que tienen un diámetro superior a 4.76 mm, es la que normalmente se denomina agregado grueso o simplemente grava. Una clasificación más específica es la que se muestra en la Tabla 4, donde se indican los nombres más usuales de las fracciones y su aptitud como agregados para concreto según su tamaño” (p. 69).

Tabla 4

Clasificación general del agregado según su tamaño

Tamaño de las partículas en mm (pulg.)	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
Inferior a 0,002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
Entre 0,002 - 0,074 (No. 200)	Limo		
Entre 0,074 - 4,76 (No. 200) - (No. 4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
Entre 4,76 - 19.1 (No. 4) - (3/4")	Gravilla	Agregado grueso	
Entre 19.1 - 50.8 (3/4") - (2")	Grava		
Entre 50.8 - 152.4 (92") - (6")	Piedra		
Superior a 152.4 (6")	Rajón, piedra bola		

Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Sánchez (1994).

b) CLASIFICACIÓN SEGÚN SU PROCEDENCIA

“De acuerdo con el origen de los agregados, según provengan de fuentes naturales o sean fabricados a partir de productos industriales, se pueden clasificar de la siguiente manera” (Sánchez, 1994, p. 69):

AGREGADOS NATURALES: “Son todos aquellos que provienen de la explotación de fuentes naturales tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas y gravas de río) o de glaciares (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Se pueden aprovechar en su granulación natural o triturándolos mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas” (Sánchez, 1994, p. 69).

AGREGADOS ARTIFICIALES: “Estos agregados se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros. Por lo general estos agregados son más ligeros o pesados que los ordinarios” (Sánchez, 1994, p. 70).

c) CLASIFICACIÓN SEGÚN SU DENSIDAD

Pasquel (1998) menciona:

“Entendiendo densidad como la Gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlos en normales con $G_e = 2.5$ a 2.75 , ligeros con $G_e < 2.5$ y pesados con $G_e > 2.75$. Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y uso para cada caso” (p. 72).

Sánchez (1994) menciona:

“Otra forma de clasificar los agregados es según su densidad, la cual depende de la cantidad de masa por unidad de volumen y del volumen de los poros, ya se trate de agregados naturales o artificiales. Esta distinción se hace porque afecta la densidad del concreto (ligero, normal o pesado) que se desea producir, como lo indica la Tabla 5” (p. 70).

Tabla 5
Clasificación del agregado según su densidad

Tipo de concreto	Peso unitario aprox. del concreto kg/m^3	Peso unitario del agregado kg/m^3	Ejemplo de utilización	Ejemplo de agregado
Ligero	400-800	60-480	Concreto para aislamientos	Piedra pómez
	950-1.350	480-1.040	Concreto para rellenos y mampostería no estructural	Perlita
	1.450-2.000		Concreto estructural	
Normal	2.000-2.500	1.300-1.600	Concreto estructural y no estructural	Canto rodado Agregados de río
Pesado	2.500-5.600	3.400-7.500	Concreto para protección contra radiación gamma o X, y contrapesas	Piedra barita, magnetita

Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Sánchez (1994).

d) CLASIFICACIÓN SEGÚN SU FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL

Rivera (2000) afirma:

“La presencia de partículas alargadas o aplanadas puede afectar la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad de las mezclas, porque tienden a orientarse en un solo plano lo cual dificulta la manejabilidad; además debajo de las partículas se forman huecos de aire y se acumula agua perjudicando las propiedades de la mezcla endurecida... por otro lado, la textura superficial de las partículas del agregado influye en la manejabilidad y la adherencia entre la pasta y el agregado, por lo tanto, afecta la resistencia (en especial la resistencia a la flexión)” (p. 54).

Tabla 6
Clasificación de las partículas del agregado según su forma

FORMA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
Redondeadas	Totalmente desgastada por el agua o completamente limada por frotamiento.	Grava de río o playa, arena del desierto, playa.
Irregular	Irregularidad natural, o parcialmente limitada por frotamiento y con orillas redondeadas.	Otras gravas, pedernales del suelo o de excavación.
Escamosa	Material en el cual el es pequeño en relación a las otras dos dimensiones.	Roca laminada.
Angular	Posee orillas bien definidas que se forman en la intersección de caras más o menos planas.	Rocas trituradas de todo tipo, escoria triturada.
Alongadas	Material normalmente angular en el cual la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.	

Fuente: Concreto Simple. Rivera (2000).

Rivera (2000) menciona:

“La clasificación de las partículas del agregado según su textura superficial se basa en el grado en que la superficie de una partícula es pulida o mate, suave o áspera; es preciso describir el tipo de aspereza. La textura depende de la dureza, el tamaño del grano y las características porosas de la roca original (las rocas densas, duras y de grano fino generalmente tienen superficies con fracturas suaves), así como del grado en que las fuerzas que actúan sobre la superficie de la partícula han modificado sus características” (p. 54).

Tabla 7
Clasificación de las partículas del agregado según su textura superficial

TEXTURA	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLO
Vítrea	Fractura concooidal.	Pedernal negro, escoria vítrea.
Lisa	Desgastada por el agua, o liso debido a la fractura laminada o de grano de roca	Gravas, pizarras, mármol, algunas reolitas.
Granular	Fractura que muestra granos más o menos uniformemente redondeados.	Arenisca.
Áspera	Fractura áspera de roca con granos finos o medianos que contienen constituyentes cristalinos no fácilmente visibles.	Basalto, felsita, pórfido, caliza.
Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles.	Granito, Gabro, Gneis.
Apanalada	Con poros y cavidades visibles	Pómez, escoria espumosa, arcilla expandida.

Fuente: Concreto Simple. Rivera (2000).

5. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO

a) DEFINICIÓN

“Se define como aquel que pasa el tamiz 3/8” y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas” (Torre, 2004, p. 44).

“Se considera como agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037” (Abanto, 2010, p. 23).

b) GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO (NTP 400.012)

“Los agregados finos y grueso según la norma ASTM C-33, y NTP 400.037 deberán cumplir con las gradaciones establecidas en la NTP 400.012, respectivamente” (Torre, 2004, p. 50).

“La granulometría seleccionada será preferentemente uniforme o continua, con valores retenidos en las mallas N° 4 a N° 100 de la serie Tyler. Se recomiendan para el agregado los siguientes límites, en la Tabla 8” (Torre, 2004, p. 50).

Tabla 8
Granulometría de agregado fino

Tamiz	Límites Totales	% Pasa por los tamices normalizados		
		C	M	F
9.5 mm (3/8")	100	100	100	100
4.75 mm (N°4)	89 – 100	95 – 100	85 – 100	89 – 1000
2.38 mm (N°8)	65 – 100	80 – 100	65 – 100	80 – 100
1.20 mm (N° 16)	45 – 100	50 – 85	45 – 100	70 – 100
0.60 mm (N° 30)	25 – 100	25 – 60	25 – 80	55 – 100
0.30 mm (N° 50)	5 – 70	10 – 30	5 – 48	5 – 70
0.15 mm (N° 100)	0 – 12	2 – 10	0 – 12*	0 – 12*

Fuente: Curso Básico de Tecnología del concreto. Torre (2004).

“Los resultados deben expresarse en la forma tabulada, como se muestra en la Tabla 9, para lo cual tenemos el siguiente proceso:” (Rivera, 2000, p. 56).

“Columna (1): Esta columna indica la serie de tamices empleada en el análisis granulométrico en orden descendente (en la Tabla se muestran unos a manera de ejemplo)” (Rivera, 2000, p. 56).

“Columna (2): Aparece indicado la masa retenida en cada tamiz (obtenido en el laboratorio) (Xi)” (Rivera, 2000, p. 56).

“Columna (3): En ella se expresa cada valor Xi de la columna (2) como porcentaje de la masa total de la muestra XT de acuerdo a la siguiente fórmula: $Y_i = X_i \cdot 100 / X_T$ ” (Rivera, 2000, p. 56).

“Columna (4): En esta se indica el acumulado de los porcentajes retenidos en cada tamiz: Por ejemplo: $Z_1 = Y_1$, $Z_2 = Y_1 + Y_2$, $Z_3 = Y_1 + Y_2 + Y_3$, hasta $Z_n = 100\%$ ” (Rivera, 2000, p. 56)

“Columna (5): Con base en el porcentaje retenido acumulado en cada tamiz se determina el porcentaje que pasa también por cada tamiz: $t_i = 100 - Z_i$. Este porcentaje que pasa es el más utilizado para hacer la representación gráfica de la curva granulométrica” (Rivera, 2000, p. 56).

Tabla 9
Determinación de la granulometría de agregados

TAMIZ mm - pulg. (1)	MASA RETENIDA g (2)	% RETENIDO (3)	% RETENIDO ACUMULADO (4)	% PASA (5)
38,1 mm - 1 1/2"	X1	Y1	Z1	t1
25,4 mm - 1"	X2	Y2	Z2	t2
19,0 mm - 3/4"	X3	Y3	Z3	t3
12,7 mm - 1/2"	X4	Y4	Z4	t4
9,51 mm - 3/8"	X5	Y5	Z5	t5
4,76 mm - No. 4	X6	Y6	Z6	t6
Fondo	X7	Y7	100%	t7
TOTAL	XT	100%		

Fuente: Concreto Simple. Rivera (2000).

CURVA GRANULOMÉTRICA

Sánchez (1994) afirma:

“Para mayor facilidad de comprensión, los resultados del análisis granulométrico comúnmente se representan de manera gráfica mediante la curva de granulometría o línea de cribado... generalmente en una gráfica de granulometría, sobre el eje de las ordenadas se representa el porcentaje acumulado que pasa a través de los tamices en escala aritmética y sobre el eje de las abscisas se indican las aberturas de los tamices, unas veces en escala aritmética, otras en escala logarítmica y algunas veces según una escala mixta” (pp. 75 - 76).

c) MÓDULO DE FINEZA (NTP 400.012)

Rivera (2000) afirma:

“El módulo de finura es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material. Está definido como la centésima parte del número que se obtiene al sumar los porcentajes retenidos acumulados en la siguiente serie de tamices: 149µm (No.100), 297µm (No.50), 595µm (No.30), 1.19mm (No.16), 2.38mm (No.8), 4.76mm (No.4), 9.51mm (3/8") y los tamices siguientes cuya abertura está en relación de 1 a 2" (p. 60).

Ecuación 1: Módulo de Fineza

$$MF = \frac{\sum (\% \text{ Ret. acum (N}^\circ 4 + N^\circ 8 + N^\circ 16 + N^\circ 30 + N^\circ 50 + N^\circ 100))}{100}$$

Tabla 10

Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura.

MODULO DE FINURA	AGREGADO FINO
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00 – 2,30	Fino
2,30 – 2,60	Ligeramente fino
2,60 – 2,90	Mediano
2,90 – 3,20	Ligeramente grueso
3,20 – 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: Concreto Simple. Rivera (2000).

Rivera (2000) afirma:

“El módulo de finura es un promedio logarítmico de la distribución de tamaños de partículas, ya que la serie de tamices se encuentra en una relación 1:2. En términos reales, un mismo valor de módulo de finura puede representar un número infinito de distribuciones granulométricas, por lo cual no se puede interpretar como una descripción de la granulometría de un agregado dado, sino, más bien, como un factor que indica de manera práctica el predominio de partículas finas o partículas gruesas dentro de la distribución granulométrica. En general, éste valor puede variar entre 0 y 10 o más (dependiendo del tamaño máximo presente) ... en la medida en que se acerca a cero indica un agregado fino y en la medida que aumenta su valor indica que el agregado es más grueso. Su uso generalmente se ha centrado en la evaluación de “grados de finura” del agregado fino o arena” (p. 78).

TAMAÑO MÁXIMO (TM): “El tamaño máximo del agregado es otro factor que se deriva del análisis granulométrico y está definido como la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 100% del material” (Sánchez, 1994, p. 78).

“En la práctica, lo que indica el tamaño máximo de un agregado es el tamaño de la partícula más grande que hay dentro de la masa de agregados, el cual debe ser compatible con las dimensiones y especificaciones de la estructura” (Sánchez, 1994, p. 78).

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN): “El tercer factor que se deriva del análisis granulométrico es el tamaño máximo nominal que está definido como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado sea el 15% o más” (Sánchez, 1994, p. 78).

Sánchez (1994) afirma:

“En la práctica, lo que indica el tamaño máximo nominal es el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de la masa de agregado. La mayor utilidad de este factor respecto al anterior estriba en que el tamaño máximo nominal define mejor el tamaño de las partículas más grandes de la masa de agregados en su fracción gruesa, mientras que el tamaño máximo sólo indica el tamaño de la partícula más grande que hay en la masa, la cual en algunos casos puede ser única” (p. 78).

d) PESO UNITARIO (NTP 400.017)

Pasquel (1998) afirma:

“Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo... el valor del peso unitario para agregados normales oscila entre 1,500 y 1,700 kg/m³” (p. 74).

Sánchez (1994) menciona:

“El peso volumétrico de un agregado, más comúnmente conocido como el peso unitario; está definido como la relación existente entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. De tal manera que al colocar el agregado dentro del recipiente (Figura 3) se tendrá un acomodamiento de las partículas en que el menor volumen de espacios entre partícula y partícula se logra cuando se coloca la mayor cantidad posible de piedras, lo cual depende del tamaño, la granulometría, la forma y la textura del agregado” (p. 97).

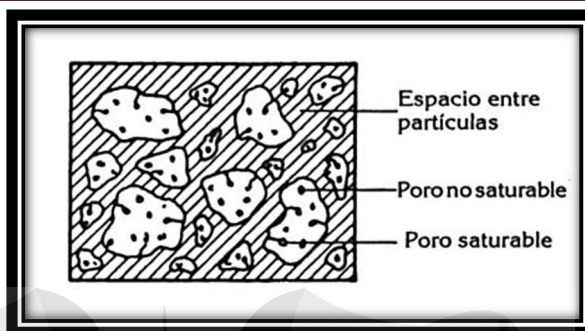


Figura 3. Esquematzación del peso volumétrico
Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Sánchez (1994).

“Al observar la Figura 3, lo que se percibe en realidad como masa unitaria es una densidad del material como conjunto, ya que según la Ecuación 2, tal como sigue” (Sánchez, 1994, p. 97):

Ecuación 2: Peso Unitario o masa unitaria

$$\text{Masa unitaria} = \frac{P_s}{V_r}$$

Donde:

P_s = Peso seco del material.

V_r = Volumen del recipiente.

Sánchez (1994) afirma:

“El denominador es el volumen del recipiente, el cual incluye el volumen de las partículas, el volumen de los poros de las partículas (saturables y no saturables) y el volumen de los espacios entre partícula y partícula. El numerador de la expresión es el peso del material que depende de qué tan compactas y densas (poco porosas) sean las partículas” (pp. 96 - 97).

PESO UNITARIO COMPACTADO

“La importancia de este factor radica en que con él se determinan los volúmenes absolutos de agregados en el diseño de mezclas por cuanto las partículas del agregado van a quedar confinadas dentro de la masa de concreto” (Sánchez, 1994, p. 98).

PESO UNITARIO SUELTO

Sánchez (1994) menciona:

“En este caso, el valor de la masa unitaria suelta es de vital importancia cuando se van a manejar los agregados, ya que por ejemplo el transporte se hace por volumen y en estado suelto, de tal manera que el volumen de agregado a transportar y consumir será mayor que el volumen de agregados dentro del concreto a producir, colocar y compactar” (p. 98).

e) PESO ESPECÍFICO (NTP 400.022)

Pasquel (1998) afirma:

“Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas... hay que tomar en cuenta que las expresiones de la norma son adimensionales, luego hay que multiplicarlas por la densidad del agua en las unidades que se deseen para obtener el parámetro a usar en los cálculos. Su valor para agregados normales oscila entre 2,500 y 2,750 kg/m³” (p. 74).

Ecuación 3: Peso específico

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{B + S - C}$$

Donde:

A = Masa de la muestra secada al horno (g).

B = Masa del picnómetro llenado de agua (g).

C = Masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua (g).

S = Masa de la muestra de saturado superficialmente seca

Sánchez (1994) menciona:

“Sin embargo, en el caso de los agregados para concreto hay necesidad de definir cuidadosamente el término densidad, puesto que generalmente entre sus partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua, dependiendo de su permeabilidad interna. Para esto, es necesario examinar la Figura 4” (p. 95).

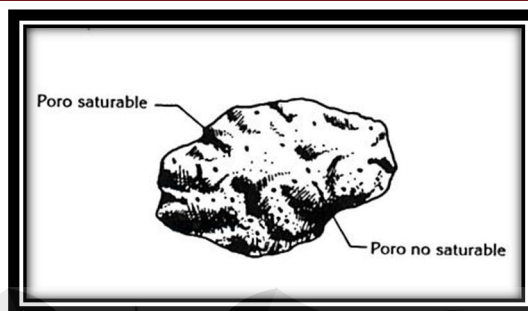


Figura 4. Partícula de agregado.
Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Sánchez (1994).

f) CAPACIDAD DE ABSORCIÓN (NTP 400.022)

Pasquel (1998) afirma:

“Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias (p. 76).

“En las normas ASTM C-127 y 128 se establecen la metodología para su determinación, que es expresada en la siguiente ecuación” (Pasquel, 1998, p. 76):

Ecuación 4: Capacidad de absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso}_{\text{SSS}} - \text{Peso}_s}{\text{Peso}_s}$$

Donde:

Peso_{SSS} = Peso seco superficialmente saturado del material.

Peso_s = Peso seco del material

g) CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.185)

Pasquel (1998) menciona:

“Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas... la humedad se expresa de la siguiente manera” (p. 77):

Ecuación 5: Contenido de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso original de la muestra} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

6. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO**a) RESISTENCIA DE LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO**

Pasquel (1998) afirma:

“Capacidad de asimilar la aplicación de fuerzas de compresión, corte, tracción y flexión. Normalmente se mide por medio de la resistencia en compresión, para lo cual se necesita ensayar testigos cilíndricos o cúbicos de tamaño adecuado al equipo de ensayo, que se perforan o cortan de una muestra lo suficientemente grande” (p. 78).

Pasquel (1998) afirma:

“La resistencia en compresión está inversamente relacionada con la porosidad y la absorción y directamente con el peso específico... agregados normales con peso específico entre 2.5 a 2.7, tienen resistencias en compresión del orden de 750 a 1,200 Kg/cm²... los agregados ligeros con peso específico entre 1.6 a 2.5 usualmente manifiestan resistencias de 200 a 750 Kg/cm²... la resistencia del agregado condiciona en gran medida la resistencia del concreto, por lo que es fundamental el evaluarla directa o indirectamente cuando se desea optimizar la calidad de los concretos” (p. 78).

b) TENACIDAD

Sánchez (1994) menciona:

"Otra de las propiedades mecánicas del agregado que conviene mencionar, es la tenacidad o resistencia a la falla por impacto, la cual tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, ya que si éstos son débiles ante las cargas de impacto se puede alterar su granulometría, aparte de indicar una baja calidad para ser utilizados en concreto" (p. 99).

c) ADHERENCIA

Sánchez (1994) afirma:

"Durante los procesos de fraguado y endurecimiento del concreto, los agregados se encuentran aglutinados por la pasta de cemento (cuya resistencia y rigidez varía con el tiempo y las condiciones ambientales) y se genera una interacción en la zona de contacto agregado-pasta, conocida con el nombre de adherencia... la adherencia juega un papel muy importante dentro de la masa de concreto, debido a que cuando esta interacción es lograda a través de una buena traba entre los agregados y la pasta, la resistencia del concreto es mayor... la adherencia depende de la calidad de la pasta de cemento y, en gran medida, del tamaño, forma, rigidez y textura de las partículas del agregado, especialmente cuando se trata de resistencia a la flexión... hoy en día no se conoce ningún método para medir la buena o mala adherencia de un agregado, pero es claro que ésta aumenta con la rugosidad superficial de las partículas" (p. 99).

2.2.2.3. AGUA

1. INTRODUCCIÓN

Pasquel (1998) menciona:

"Ya hemos visto que el agua es el elemento indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por lo tanto, este componente debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química, sin ocasionar problemas colaterales si tiene ciertas sustancias que pueden dañar al concreto" (p. 59).

2. CONCEPTOS GENERALES

Rivera (2000) menciona:

"El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la preparación de un mortero o un concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del hormigón" (p. 77).

"El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma ITINTEC 334.088 y ser, de preferencia, potable" (Rivva, 1992, p. 23).

3. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

"El estudio de las características del agua a utilizar en la mezcla del concreto adquiere gran importancia ya que este material interviene en la reacción química con el material cementante (cemento) para lograr" (Torre, 2004, p. 29):

- a) "La formación de gel; se define como gel a la parte sólida de la pasta la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación" (Torre, 2004, p. 29).
- b) "En estado fresco; faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma" (Torre, 2004, p. 30).
- c) "En estado endurecido; la conviertan en un producto de las propiedades y características deseadas. Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque esta velocidad determinara el tiempo de fraguado y de endurecimiento" (Torre, 2004, p. 30).
- d) "Curado del concreto; lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de resaturar" (Torre, 2004, p. 30).

4. AGUA POTABLE

a) DEFINICIÓN

"De acuerdo con lo anterior, el agua se puede definir como aquel componente del concreto en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados" (Sánchez, 1994, p. 57).

b) CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL AGUA

"Puesto que no es deseable introducir grandes cantidades de sedimentos en el concreto, se ha comprobado que las aguas que contengan menos de 2.000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos, generalmente son satisfactorias para hacer concreto" (Sánchez, 1994, p. 60).

"Un resumen de los efectos de ciertas impurezas en el agua de mezclado sobre la calidad del concreto se explica a continuación" (Torre, 2004, p. 38):

- ❖ **El carbonato de sodio:** "Puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que lo bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto" (Torre, 2004, p. 38).
- ❖ **Cloruros:** "La inquietud respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los torones del pre esfuerzo" (Torre, 2004, p. 39).
- ❖ **Sulfatos:** "El contenido de sulfatos en el agua, se debe a las posibles reacciones expansivas y al deterioro por ataque de sulfatos, especialmente en aquellos lugares donde el concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de sulfatos" (Torre, 2004, p. 39).
- ❖ **Sales Inorgánicas:** "Las sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo presentes en el agua pueden provocar una reducción considerable en la resistencia y también grandes variaciones en el tiempo de fraguado. De estas, las más activas son las sales de zinc, de cobre y de plomo" (Torre, 2004, p. 39).

c) REQUISITOS DE CALIDAD

"La Norma Peruana NTP 339.088 considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidos dentro de los siguientes límites de la tabla 11" (Torre, 2004, p. 31).

Tabla 11
Límites permisibles para el agua de mezcla y curado

DESCRIPCIÓN	LÍMITE PERMISIBLE		
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5,000	ppm	Máximo
Materia Orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO_3)	1,000	ppm	Máximo
Sulfatos (ión SO_4)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ión Cl^-)	1,000	ppm	Máximo
pH	5 a 8		Máximo

Fuente: Curso Básico de Tecnología del concreto. Torre (2004).

5. EL AGUA DE MEZCLA

"El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales: Reaccionar con el cemento para hidratarlo, actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto y procurar la estructura de vacíos necesaria para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse" (Pasquel, 1998, p. 59).

Pasquel (1998) afirma:

"Por lo tanto, la cantidad de agua que interviene en la mezcla de concreto es normalmente por proporciones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento. El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de éstas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento... una regla empírica que sirve para estimar si determinada agua sirve o no para emplearse en la producción de concreto, consiste en establecer su habilidad para el consumo humano, ya que lo que no daña al hombre no daña al concreto" (pp. 59 - 60).

2.2.2.4. ADITIVO

1. INTRODUCCIÓN

“Un aditivo es un material distinto del agua, del agregado, o del cemento, es utilizado como un componente del concreto, que se añade a éste antes o durante el mezclado a fin de modificar una o algunas de sus propiedades” (Rivva, 1992, p. 26).

2. CONCEPTOS GENERALES

Torre (2004) menciona:

“Un aditivo es definido, tanto por el Comité 116R del ACI como por la Norma ASTM C 125, como un material que, no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado... los aditivos que se añaden a las mezclas de concreto, se pueden realizar antes y/o durante el proceso de mezclado con el único interés de” (Torre, 2004, p. 31):

- a) Modificar una o algunas de sus propiedades NTP, a fin de permitir que sean más adecuados para el trabajo solicitado.
- b) Mejorar su trabajabilidad facilitando su proceso de colocación.
- c) Posibilitar el rendimiento en la elaboración, transporte, y puesta en obra del concreto.
- d) Lograr mayor economía y mejores resultados, por cambios en la composición o proporciones de la mezcla.

3. CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS

“Una clasificación más resumida de los aditivos en términos de su función es la siguiente: Aditivos inclusores de aire, aditivos reductores de agua, aditivos retardantes, aditivos acelerantes, aditivos superplastificantes, aditivos minerales y otros aditivos” (Sánchez, 1994, p. 263).

4. ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA - PLASTIFICANTES

“Son compuestos orgánicos e inorgánicos que permiten emplear menor agua de la que se usaría en condiciones normales en el concreto, produciendo mejores características de trabajabilidad y también de resistencia al reducirse la relación agua/cemento” (Pasquel, 1998, p. 119).

"Tienen una serie de ventajas como son: Economía, facilidad en los procesos constructivos, trabajo con asentamientos mayores sin modificar la relación agua/cemento, mejora significativa de la impermeabilidad, posibilidad de bombear mezclas a mayores distancias sin problemas de atoros" (Pasquel, 1998, p. 120).

"En general, la disminución del asentamiento en el tiempo es algo más rápida que en el concreto normal, dependiendo principalmente de la temperatura de la mezcla" (Pasquel, 1998, p. 120).

EFFECTO EN EL CONCRETO FRESCO

Sánchez (1994) menciona:

"Para el mismo asentamiento y contenido de aire, los aditivos reductores de agua del tipo A, D y E pueden reducir el requerimiento de agua de mezclado en el concreto hasta en un 10%, siempre y cuando no se obtengan efectos perjudiciales en otras propiedades del concreto. La reducción mínima permisible por la norma ASTM C-494, para este tipo de aditivos, está fijada en 5%. De otra parte, si se mantiene constante el contenido de agua de la mezcla, estos aditivos aumentan el asentamiento del concreto fresco... desde el punto de vista de manejabilidad, para un mismo asentamiento, el concreto que tiene un aditivo reductor de agua usualmente la mejora facilitando la colocación con menor segregación y mejor respuesta a la consolidación" (p. 269).

EFFECTOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO

Sánchez (1994) señala:

"La contracción del concreto con el uso de estos aditivos es muy variable. Algunos la pueden aumentar y otros disminuir, dependiendo de su composición química y de las características del cemento y de los otros materiales... en general, los aditivos reductores de agua producen en el concreto un aumento de resistencia a todas las edades. De otra parte, el aumento de resistencia con estos aditivos es mayor que lo que podría esperarse de una reducción en la relación agua-cemento; o con la misma relación agua-cemento y contenido de cemento, el concreto con aditivo es más resistente que el concreto sin aditivo" (pp. 269 - 270).

2.2.3. VIDRIO

2.2.3.1. GENERALIDADES

1. DEFINICIÓN

Pearson (2009) afirma:

"El vidrio es un material que ha sido usado por el hombre desde hace milenios. Posiblemente sea el material más viejo fabricado por el hombre y que aún continúa afectando la vida presente. El vidrio está presente en formas tan diversas como: ventanas, vasos, envases de todo tipo, telescopios, en la industria nuclear como escudo de radiación, en electrónica como sustrato sólido para circuitos, en la industria del transporte, de la construcción etc. Por sus características intrínsecas (brillantez, resistencia al uso, transparencia, etc.) el vidrio es un material difícilmente sustituible (y a veces, realmente insustituible) en la mayoría de sus aplicaciones" (p. 11).

Calderón (2010) afirma:

"Suele ser habitual la confusión entre vidrio y cristal. Ambos materiales pueden tener la misma composición, sin embargo, poseen una ordenación diferente de su estructura atómica. Mientras que en el cristal los átomos permanecen ordenados, en el vidrio estos se presentan de forma desordenada, dando lugar a lo que llamaríamos un material amorfo. Esta es la representación esquematizada de la diferencia estructural entre vidrio y cristal" (p. 10).

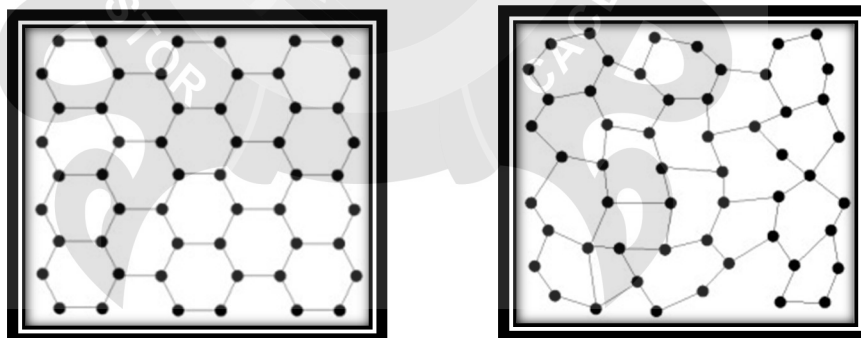


Figura 5. Estructura regular propia de los cristales y estructura amorfa propia de los vidrios.
Fuente: El vidrio en la construcción Tipología y usos. Calderón (2010).

2. CLASIFICACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS DEL VIDRIO

"Se puede entender la clasificación sobre el origen de las materias primas del vidrio las cuales se podrían clasificarse de la siguiente manera" (Calderón, 2010, p. 52):

Origen Mineral: Arena, cuarzo, caliza, dolomita, feldespato, fluorita, boratos naturales, etc.

Origen Químico: Carbonatos de sodio, bórax, colorantes, etc.

Casco de vidrio: Vidrio reciclado. Puede ser interno o externo.

Materias primas secundarias: Escorias, fundentes, vitrificantes y estabilizantes.

“Caso contrario que, si nos fijamos más en la proporción en cuanto al producto final, se tendría que hablar de” (Calderón, 2010, p. 52):

Componentes principales: Aquellos cuya proporción sobre el producto finales superior al 1-2% y cumplen funciones de formadores y modificadores de la red. Sílice, alúmina, óxidos de calcio, magnesio, sodio, etc.

Componentes minoritarios: Cuando entran en pequeñas cantidades, sea cual sea su propósito. Afinantes, colorantes, oxidantes, reductores, opacificantes, etc.

“Sin embargo, la clasificación que más nos interesa es aquella que los divide en grupos en función de su tipología o su uso en el proceso de fabricación” (Calderón, 2010, p. 52).

Tabla 12

Clasificación de las materias primas del vidrio en función de su tipología

TIPO/GRUPO	Materia prima fuente
Vitrificantes	Arena
Fundentes	Carbonato sódico y escorias
Estabilizadores	Caliza, dolomía, feldespato, alúmina, nefelina, fluorita, otros
Afinantes	Sulfato sódico, cálcico, bórico, arsénico, nitrato sódico, otros
Colorantes	Óxido de hierro, de cromo, dicromatos de potasio, cromita, óxido de cobalto, sulfato de sodio, carbón.

Fuente: El vidrio en la construcción Tipología y usos. Calderón (2010)

3. FABRICACIÓN DEL VIDRIO

Calderón (2010) menciona:

“Tras el desarrollo de la evolución histórica del vidrio a lo largo del tiempo, hemos de detenernos en la elaboración del mismo en la actualidad. Para ello es necesario conocer los métodos generales de la vidriería. Métodos compartidos por todo tipo de industria volcada a este material, ya sea del sector de la construcción, la automoción o el embotellado. La fabricación del vidrio consta de siete procesos diferenciados” (p. 50).

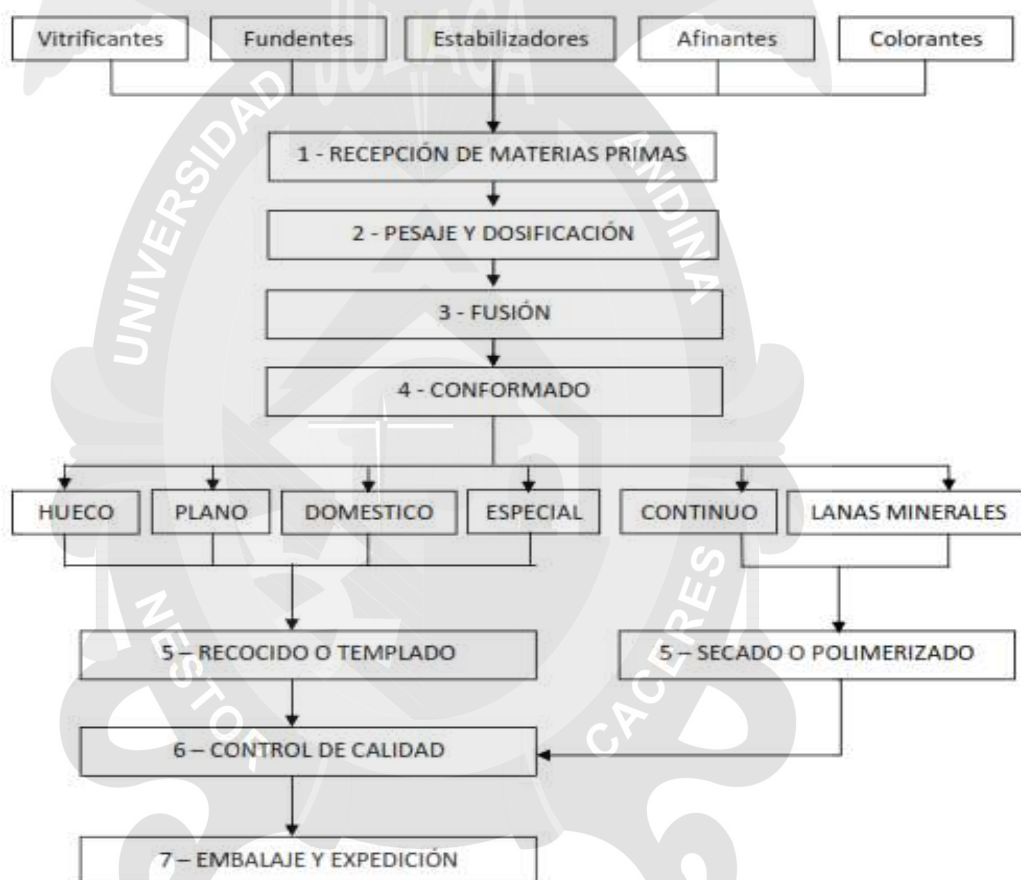


Figura 6. Proceso diferenciado de la fabricación del vidrio

Fuente: El vidrio en la construcción Tipología y usos. Calderón (2010).

a) MATERIA PRIMA

“Para la fabricación de vidrio se requieren diversas materias primas en diferentes grados de pureza en función de la tipología de vidrio a realizar. No obstante, podemos destacar los componentes más comunes” (Calderón, 2010, p. 51):

Arena silícea y cuarzo

Carbonato de Sodio

Feldespatos potásico

Calizas y calizas dolomíticas

Casco de vidrio (vidrio reciclado)

b) COMPOSICIÓN

“El tipo de vidrio, así como las propiedades que le queramos transmitir, determinará las cantidades de las distintas materias primas que introduciremos en el horno para su fundición” (Calderón, 2010, p. 63).

“A continuación, en la Tabla 13 se expondrá algunas de las formulaciones más comunes en la fabricación del vidrio encontradas” (Calderón, 2010, p. 63):

Tabla 13
Formulaciones más comunes en la fabricación del vidrio

	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO+MgO	BaO	PbO	Al ₂ O ₃	ZnO	Otros
Plano	72-73	13-16	-	7-13,5	-	-	0,2-1,5	-	Fe ₂ O ₃ : 0,02-1
Hueco	70-75	10-16	0,3	2-16	-	-	1-2,5	-	B ₂ O ₃ : 0-1
Doméstico	56-81	2,5-18,1	7,1-13	0,9-19,0	-	14-35	0,2-17,5	-	P ₂ O ₅ : 2,6 Li ₂ O: 8,0 TiO ₂ : 1,5 B ₂ O ₃ : 0,2-17,1 FNa + F ₃ Al ₃ : 4
Moldeados	70-75	10-16	0-3	2-16	-	-	1-2,5	-	-
Tubo de vidrio	71,6	7,9	1,4	0,3	2,8	-	5,5	0,4	B ₂ O ₃ : 9,9
Filamento continuo(*)	53-60	0,5-2	-	20-24	-	-	11-16	-	B ₂ O ₃ : 0-10
Lanas minerales	Las fórmulas de lana de vidrio suelen estar en el 65 y el 80% de SiO ₂ y entre el 20-35% en el resto de los componentes. En el caso de las lanas de roca, la mayoría de los componentes, por no decir el 100%, procede de rocas basálticas y escorias.								

Fuente: El vidrio en la construcción Tipología y usos. Calderón (2010).

c) PROCESO DE FABRICACIÓN

“Para una mejor comprensión del proceso de fabricación realizaremos un resumen empleando el esquema que puede observarse en la figura 7 y que se enumera las partes de la fábrica como se menciona” (Calderón, 2010, p. 75):

1. Materias primas: “Recepción, preparación y mezcla de las materias primas. Posteriormente la mezcla será llevada a las tolvas que la introducirá en el horno de manera regulada” (Calderón, 2010, p. 75).
2. Fusión: “El horno funde la mezcla formando vidrio en estado líquido” (Calderón, 2010, p. 75).
3. Baño o flotado: “El vidrio flota sobre una piscina de estaño líquido dentro de una atmosfera controlada. Aquí toma se produce el moldeo, tomando su planicidad y espesor” (Calderón, 2010, p. 75).
4. Recocido: “El vidrio se debe enfriar lentamente, para ello se dispone de cámaras cerradas que controlan un enfriamiento progresivo del material” (Calderón, 2010, p. 75).
5. Transporte: “El vidrio circula a través de unas cintas transportadoras al aire libre, terminando así su proceso de enfriamiento. En este punto se comprueba mediante escáner el espesor resultante” (Calderón, 2010, p. 75).
6. Corte: “Se realizan dos cortes, uno transversal que separa la pieza del resto y otro longitudinal que crea un lado más uniforme y elimina las imperfecciones de los bordes propias de la fabricación” (Calderón, 2010, p. 75).
7. Recepción: “La pieza de vidrio ha terminado su proceso de elaboración. Mediante el empleo de maquinaria adecuada esta es elevada y colocada sobre caballetes para su almacenaje” (Calderón, 2010, p. 75).
8. Almacenaje: “Los pedidos son almacenados en un espacio reservado dentro de la fábrica para este propósito. Posteriormente son introducidos en camiones para su transporte” (Calderón, 2010, p. 75).

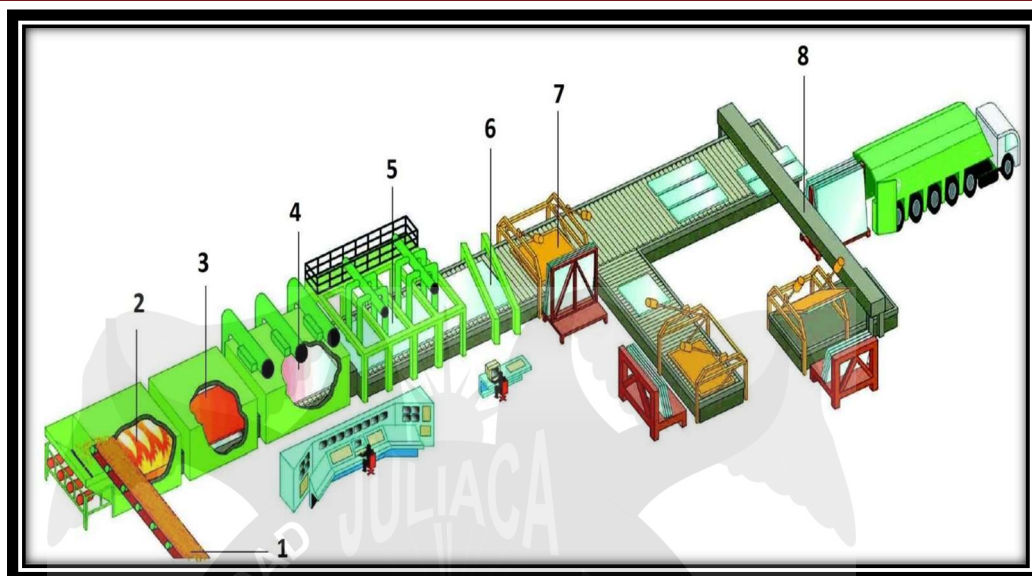


Figura 7. Esquema del proceso de elaboración del vidrio flotado
Fuente: Pilkington.

4. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

“En esta Tabla 14 podemos apreciar distintas características físicas, mecánicas o de transmisión del calor que pueden sernos útiles” (Calderón, 2010, p.19).

Tabla 14
Propiedades físicas y mecánicas del vidrio

Características	Símbolo	Valor numérico
Densidad (a 18°C)	ρ	2.500 Kg/m ³
Dureza	-	6 (escala Mohs)
Modulo de Young	E	7x10 ¹⁰ Pa
Índice de Poisson	μ	0,22
Calor específico	c	0,72 x 10 ³ x J / (kg·K)
Coeficiente medio de dilatación lineal entre 20 y 300 °C	α	9 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Conductividad térmica	λ	1 W/(m·K)
Índice de refracción medio en el espectro visible (380 nm y 780 nm)	n	1,5

Fuente: El vidrio en la construcción Tipología y usos. Calderón (2010).

- a) **DENSIDAD:** "Densidad $2,5 \text{ kg/m}^3$, lo que significa un peso de $2,5 \text{ kg/m}^2$ por cada mm de espesor" (Pearson, 2009, p. 14).
- b) **DUREZA:** "El valor de la dureza del vidrio se encuentra entre 6 a 7 en la escala de Mohs. El vidrio templado tiene la misma dureza superficial que el vidrio recocido o crudo" (Pearson, 2009, p. 15).
- c) **MODULO DE ELASTICIDAD:** "El módulo de Young expresa la fuerza que hay que aplicar a una barra de sección unitaria para duplicar su longitud. Para el vidrio plano es: $E = 720.000 \text{ k/m}^2$ " (Pearson, 2009, p. 15).
- d) **COEFICIENTE DE POISSON:** "El coeficiente de Poisson (S) es la relación entre la contracción que experimenta una sección perpendicular al sentido del esfuerzo y el alargamiento unitario en la dirección de dicho esfuerzo. Para el vidrio plano S = de 0.22 a 0.23" (Pearson, 2009, p. 16).
- e) **RESISTENCIA MECÁNICA:** "El vidrio siempre rompe por tensiones de tracción en su superficie" (Pearson, 2009, p. 16).
- f) **RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:** "Varía entre 300 y 700 kg/cm^2 , dependiendo de la duración de la carga. Si la carga es permanente la resistencia a la tracción disminuye un 40%. La resistencia a la tracción varía con la temperatura: a mayor temperatura, menor resistencia" (Pearson, 2009, p. 16).
- g) **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:** "Aproximadamente 10.000 kg/cm^2 es el peso necesario para romper un cubo de vidrio de 1 cm de lado" (Pearson, 2009, p. 16).

2.2.3.2. TIPOLOGÍA DE VIDRIOS

"A lo largo de la segunda mitad del siglo XX, tras la implantación del float para la obtención de vidrio plano, se han venido sucediendo numerosas mejoras y especializaciones de los vidrios en la construcción" (Calderón, 2010, p. 78).

"A continuación, desmenuzaremos cada tipología agrupándola según un aspecto del material (composición, fabricación o uso)" (Calderón, 2010, p. 78).

1. POR SU COMPOSICIÓN

"Por su composición quedarían divididos en" (Calderón, 2010, p. 78):

1 – Sódico-cálcicos: Con un contenido de calcio entre el 5 y el 14%.

2 – De Plomo: Contenido de plomo entre el 14 y el 40%.

3 – De Borosilicato: Contenido en boro entre el 5 y el 20%.

4 – De Sílice: Contenido en sílice alrededor del 96%.

2. POR SU FABRICACIÓN

"Por su fabricación se clasificarían en" (Calderón, 2010, p. 79):

1 – Tratados térmicamente: Vidrios que han sido objeto de un tratamiento térmico para mejorar su comportamiento.

2 – Laminados: Vidrio de dos o más lunas unidos por una capa de butiral.

3 – Armados: Vidrios con rejilla metálica incorporada.

4 – Serigrafiados: Se deposita en una de sus caras esmaltes vitrificantes.

5 – Mateado: Vidrios translúcidos de estética satinada.

6 – Curvado: Vidrio con forma curva.

7 – Impreso: Vidrio que posee una de sus dos caras dibujadas en relieve.

8 – Plateados: Espejos.

9 – Moldeado: Vidrios prensados en moldes.

10 – Coloreado: Vidrio al cual se le ha añadido coloración mediante óxidos metálicos.

11 – Esmaltado: Vidrio tratado con una capa de esmalte en su superficie.

12 – Lacado: Vidrio al que se le incorpora una capa de laca.

13 – Con capa: Vidrio con alguna de sus caras tratadas con diferentes capas.

3. POR SU UTILIZACIÓN

"Por su utilización el vidrio puede catalogarse como" (Calderón, 2010, p. 79):

1 – Común: Vidrio empleado comúnmente en el cerramiento de huecos de fachada.

2 – Aislantes: Mejoran el aislamiento, tanto térmico como acústico, del interior que encierran.

3 – Decorativos: Incrementan la estética del local o favorecen una mejor iluminación del mismo.

4 – De seguridad: Aportan cualidades de protección frente a incendios, golpes o rotura del material, en función de la tipología requerida.

2.2.3.3. RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DEL VIDRIO

1. RECICLAJE DEL VIDRIO

Roben (2003) menciona que:

“El vidrio es uno de los materiales que permiten reutilizar una gran parte del material desechado, de ahí su importancia. La forma ideal para reciclar vidrio, consiste en almacenar en nuestros hogares, todo tipo de tarros, botellas o envases de vidrio, para después depositarlos en los contenedores o iglús, de color verde... de esta forma, facilitaremos en gran medida el proceso de reciclaje del vidrio, siendo este mucho más rápido y económico” (pp. 15 - 16).



Figura 8. Proceso del reciclaje del vidrio.
Fuente Roben (2003).

2. REUTILIZACIÓN DEL VIDRIO

Fernández (2003) afirma:

“La primera acción recomendada para la gestión del vidrio, es la reutilización. Esta etapa se refiere a la acción de utilizar productos de vidrio en múltiples ocasiones. Un ejemplo claro son los envases de bebidas retornables. La reutilización trae consigo ventajas como el ahorro de energía y de materias primas. Cuando el producto ha cumplido con su vida útil, este puede ser reciclado y utilizado como materia prima para elaborar vidrio nuevamente. Para que esta etapa se logre materializar, se necesita que las industrias incentiven el diseño de productos reutilizables” (p. 250).

2.3.3.4. TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO

Como se sabe el vidrio es un material que es reciclado al 100% sin pérdida en sus propiedades, y sin límites que pueda ser reprocesado, para ser materia prima secundaria en la producción de nuevo vidrio o componente de otros productos (Zarta y Moreno, 2002).

Para el aprovechamiento y tratamiento del vidrio como parte del reciclaje y/o reutilización, depende principalmente de los consumidores, quienes deben tomar conciencia de la importancia de reciclar para conservar nuestros recursos naturales (Zarta y Moreno, 2002).

DISPOSICIÓN FINAL CONTROLADA

Si en caso el vidrio no es susceptible de aprovechar para la reutilización o reciclaje, se procede a su disposición final controlada, es decir destinarlo a un relleno sanitario operado técnicamente, que cumpla con la normativa ambiental vigente del país (Zarta y Moreno, 2002).

Para la vida útil del vidrio, y del cuidado de los recursos naturales, depende de una correcta gestión del vidrio; en sus diferentes etapas de su ciclo de vida. La Figura 9 muestra el ciclo de vida ideal del vidrio (Zarta y Moreno, 2002).

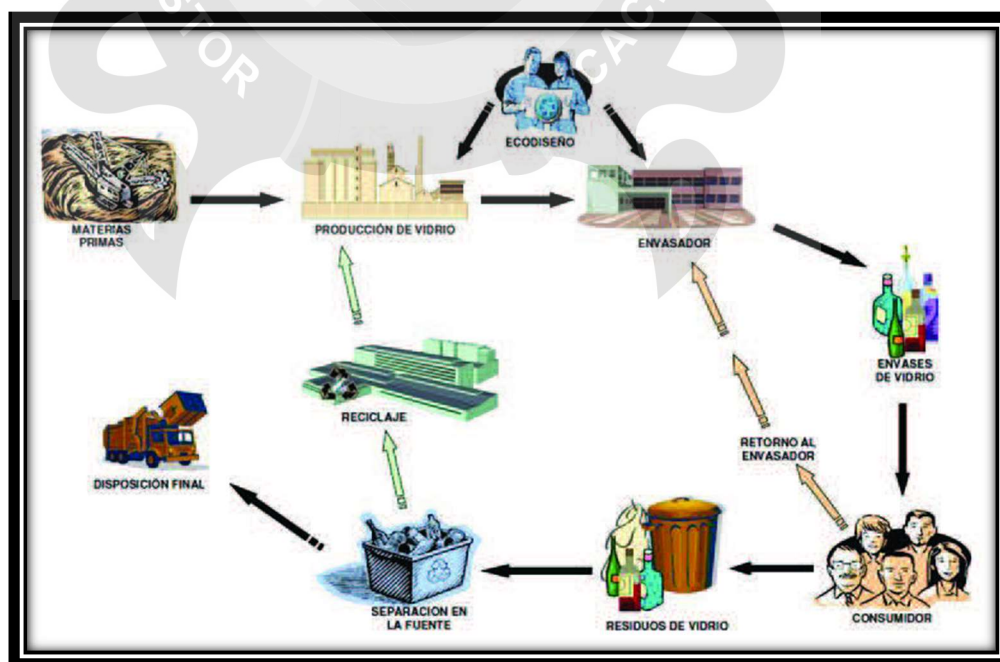


Figura 9. Ciclo de vida ideal del vidrio.
Fuente: EPAM (2008).

2.2.4. ADOQUINES

2.2.4.1. DEFINICIÓN

Unilock (2006) menciona:

“Los pavimentos de adoquines de concreto son superficies generalmente compuestas por unidades modulares prefabricadas de concreto, que cuentan con una amplia variedad de formas, colores y texturas. Estas son colocadas sobre bases granulares y de arena gradada. Arena de sello en las juntas genera la trabazón que permite la transferencia de cargas en el sistema. Este conjunto puede ser construido sobre una gran variedad de sub-bases. Debido a que los adoquines trabajan como pavimento flexible, pueden flexionarse con los movimientos menores de la base sin partirse. Esta característica única les da una ventaja clara sobre los pavimentos de asfalto y de concreto” (p. 1).

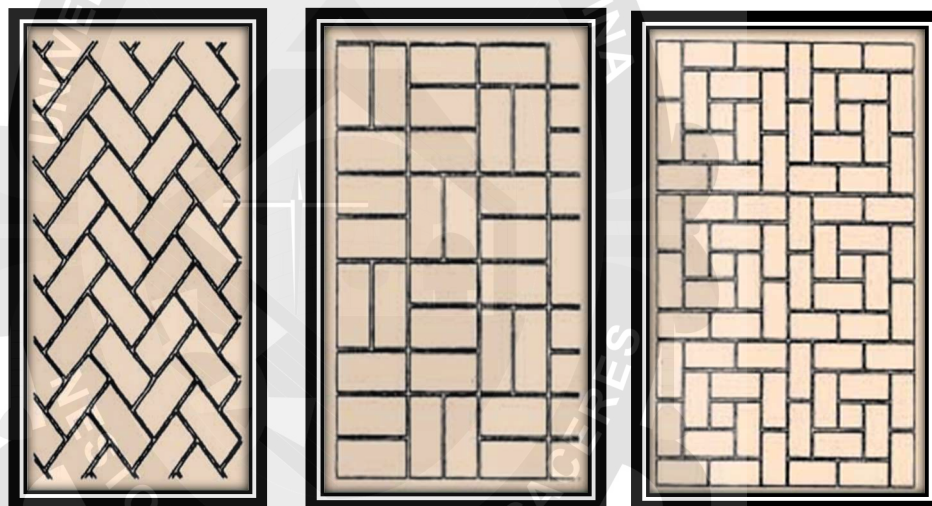


Figura 10. Formaciones de adoquines

Fuente: Manual para el uso del Adoquín Cerámico. García (2004).

2.2.4.2. CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS

“Los adoquines de concreto elaborados de acuerdo con esta NTP deberán estar conforme a los tres tipos, tal como sigue” (NTP 399 611, 2015, pp. 4 - 5):

- Tipo I** : Adoquines para pavimentos de uso peatonal.
- Tipo II** : Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.
- Tipo III** : Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular pesado, patios industriales y contenedores.

Tabla 15
Requisito a la resistencia a la compresión

TIPO	ESPESOR (mm)	PROMEDIO* (MPa)	MINIMO* (MPa)
I	40	31	28
	60	31	28
II	60	41	37
	80	37	33
III	100	35	32
	≥ 80	55	50

Fuente: RNE (2016).

Tabla 16
Requisito de tolerancia dimensional

Tolerancia dimensional, máx. (mm)		
Longitud	Ancho	Espesor
± 1,6	± 1,6	± 3,2

Fuente: NTP 399 611 (2015).

Tabla 17
Requisito complementario la absorción

Tipo de Adoquín	Absorción, máx. (%)	
	Promedio de 3 unidades	Unidad individual
I y II	6	7,5
III	5	7

Fuente: NTP 399 611 (2015).

2.2.4.3. MATERIALES

“Los materiales utilizados en la fabricación de los adoquines deberán cumplir con las siguientes normas técnicas: Para Cementos: NTP 334.009, NTP 334.082 y NTP 334.090. Para agua de mezcla: NTP 339.088. Para agregados: NTP 400.037. Para aditivos: NTP 334.088” (NTP 399 611, 2015, p. 5).

2.2.4.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS

Los adoquines de concreto deben cumplir con los siguientes requisitos de características físicas y mecánicas, para ser considerados aptos para su uso en obra (Adoquines, 2015).

- ❖ Absorción de agua: Para cualquier tipo de adoquín el porcentaje máximo de absorción promedio para tres muestras no debe ser mayor al 6%, y cuando se los ensaye individualmente no debe superar el 9%. Esto se realiza para asegurar que, en cambios de clima, sobretodo en heladas, los adoquines van a resistir (Ramos, 2018).



Figura 11. Absorción de agua del adoquín.

- ❖ Esfuerzo de rotura: La resistencia característica a la rotura no será inferior a 38 MPa y ningún valor individual debe ser inferior a 28 MPa, ni tener carga de rotura inferior a 25 N/mm² (Ramos, 2018).

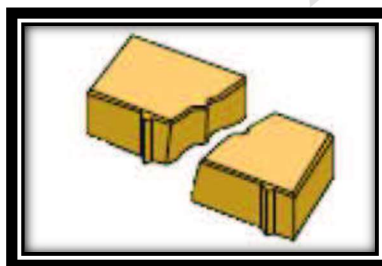


Figura 12. Esfuerzo a la rotura del adoquín.

2.2.4.5. IMPORTANCIA DEL USO DEL ADOQUÍN EN LA PAVIMENTACIÓN

La utilización de adoquines de concreto en pavimentación permite lograr una celeridad de ejecución. Debido a la sencillez del proceso constructivo, toda la estructura del pavimento se puede construir y dar al servicio en un mismo día, por lo cual las interrupciones en el tráfico son mínimas y se logran economías en tiempo, equipos, materiales, costos financieros y sociales (Guillermo, 2017).

2.2.4.6. VENTAJAS DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES

Echaveguren (2013) afirma:

“Los pavimentos de adoquines, al igual que cualquier otro tipo de pavimento, poseen ventajas y desventajas, las cuales determinan en buenas cuentas cuándo es adecuado o no optar por una solución de este tipo. En tal sentido, más que hablar de ventajas y desventajas es preciso discutir cuándo esta solución es adecuada dado el problema que se quiere resolver. Por lo tanto, resulta conveniente que los atributos de los pavimentos de adoquines son” (pp. 13 - 14):

- a) **DIVERSIDAD:** “La gran variedad de formas, colores y texturas con que pueden fabricarse los adoquines y la diversidad de configuraciones posibles de usar, entregan al proyectista elementos que adecuadamente conjugados dan por resultado pavimentos atractivos” (Echaveguren, 2013, p. 14).
- b) **CALIDAD:** “Puesto que los adoquines son elementos prefabricados, el control de calidad y su certificación pueden desarrollarse en la fábrica, reduciendo la heterogeneidad en calidad del material en obra” (Echaveguren, 2013, p. 14).
- c) **DURABILIDAD:** “Las características de los adoquines, resistencia a la compresión, absorción, resistencia al congelamiento y resistencia a la abrasión, le otorgan una alta durabilidad ante ambientes agresivos, la cual puede sobrepasar la vida de diseño del pavimento” (Echaveguren, 2013, p. 14).

- d) RAPIDEZ DE PUESTA EN OPERACIÓN:** "Independiente del método constructivo, manual o mecánico, los pavimentos de adoquines pueden utilizarse inmediatamente después de contruidos, lo cual les otorga una ventaja importante respecto de otros tipos de pavimentos, especialmente en aquellos lugares en donde no es posible contar con otras tecnologías de pavimentación" (Echaveguren, 2013, p. 14).
- e) MANTENIMIENTO:** "Puesto que los elementos se pueden reponer fácilmente, cualquier defecto inducido por aspectos funcionales o estructurales puede corregirse logrando restituir en su totalidad la condición superficial, igualando la del pavimento adyacente al área reparada" (Echaveguren, 2013, p. 14).
- f) CONDICIÓN DE OPERACIÓN:** "Debido a la regularidad superficial del pavimento producto de las juntas entre adoquines y las juntas de confinamiento, este tipo de solución es adecuada para velocidades de circulación de alrededor de los 50 km/h o menos" (Echaveguren, 2013, p. 14).
- g) REUTILIZACIÓN:** "Los adoquines, que se encuentren sanos (no fracturados o degradados), pueden reutilizarse para pavimentar, lo cual es beneficioso en términos ambientales dado que se reduce la cantidad de desecho si se desea utilizar otro tipo de pavimento, reponer o mantener áreas pavimentadas con adoquines" (Echaveguren, 2013, p.14).

2.2.4.8. AMBITO DE APLICACIÓN

"Las innumerables aplicaciones en las que puede estar presente el adoquín cerámico comprenden una variada gama de posibilidades. A continuación, se establecen diversos ámbitos de aplicación contenidos en tipologías de áreas funcionalmente distintas" (García, 2004, p. 17).

1. ÁREAS PEATONALES

"Dentro de este epígrafe existe un abanico muy amplio de aplicaciones, como es el caso de: aceras, paseos, plazas públicas, jardines, acceso a viviendas, patios interiores y exteriores de edificios" (García, 2004, pp. 17 - 18).

2. ÁREAS SOMETIDAS A TRÁFICO RODADO

"Al igual que en el apartado anterior, las posibilidades de utilización del adoquín cerámico empleado en pavimentación sometida a tráfico rodado son muy amplia, abarcando por ejemplo el uso en: vías urbanas, travesías, terminales de autobuses, áreas residenciales, mercados" (García, 2004, p. 19).

3. ÁREAS CON AMBIENTE AGRESIVO

"El pavimento con adoquín cerámico es idóneo gracias a su resistencia a los ácidos para superficies fijas en ambiente agresivo, tales como: Fábricas químicas, estaciones de servicio, garajes y depósitos de vehículos, áreas de carga y descarga" (García, 2004, p. 20).

4. OTRAS APLICACIONES

"También puede utilizarse el adoquín cerámico en aplicaciones especiales, como: Protección de taludes, estructuras hidráulicas (revestimiento de canales, protección de zonas costeras" (García, 2004, p. 21).

2.2.5. DISEÑO DE MEZCLAS

2.2.5.1. INTRODUCCIÓN

Pasquel (1998) afirma:

"Existen en la actualidad una serie de métodos de diseño de mezclas que con mayor o menor refinamiento establecen tablas y/o gráficos para estimar cantidades de agua de amasado en función del tamaño máximo, geometría del agregado y el asentamiento; relaciones agua/cemento a usar referidas a resistencias en compresión determinadas experimentalmente; las proporciones en que deben intervenir la piedra y la arena en base a gradaciones y consideraciones teóricas y/o prácticas etc. Ante este panorama, hay que tener muy claro que no existe ningún método perfecto, ni que nos proporcione una receta infalible para solucionar todos los casos prácticos, por lo que las bondades de un método sobre otro residen finalmente en el criterio personal de quien los aplique, y los resultados que cada profesional con su conocimiento técnico y experiencia obtenga en obra" (p. 172).

2.2.5.2. PARÁMETROS BÁSICOS DEL DISEÑO DE MEZCLA

1. EL PRINCIPIO DE LOS VOLUMENES ABSOLUTOS

Pasquel (1998) señala:

“En consecuencia, se trabaja en los cálculos con el peso específico de los sólidos, también llamado gravedad específica o peso específico de masa, sea en condición seca o saturada superficialmente seca, para obtener los volúmenes sólidos del componente de modo de dosificarlos adecuadamente para lograr la unidad volumétrica de medida” (p. 173).

2. LA RESISTENCIA EN COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

Pasquel (1998) afirma:

“Dado que por lo general la resistencia en compresión es un requisito fundamental que emana del proyecto estructural, o en algunas ocasiones el proyectista exige consideraciones especiales de durabilidad, se deriva entonces que un parámetro ineludible en el diseño de mezclas es la relación agua/cemento, pues como ya hemos visto al evaluar los conceptos sobre los materiales en el concreto, este parámetro regula dicho comportamiento” (p. 174).

3. LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS Y EL TAMAÑO MÁXIMO

Pasquel (1998) menciona:

“Está generalizado mundialmente el criterio de utilizar las granulometrías o gradaciones de agregados que provean el mejor acomodo entre las partículas creando una estructura muy densa, resistente e impermeable y favoreciendo la trabajabilidad. En este sentido existen una gran variedad de opciones en cuanto a cómo evaluar dichas gradaciones y cómo combinarlas, que dependen de la mayor o menor confiabilidad que se le asigne al sustento técnico de cada una, por lo que esta etapa es la que diferencia un método de diseño de otro” (p. 178).

4. LA TRABAJABILIDAD Y SU TRASCENDENCIA

Pasquel (1998) menciona:

“La trabajabilidad constituye el parámetro más manejado por los que diseñan, producen y colocan concreto, sin embargo, es el más difícil de definir, evaluar y cuantificar en términos absolutos. Se define como el mayor o menor trabajo que hay que aportar al concreto en estado fresco en los diferentes procesos de fabricación, transporte, colocación, compactación y acabado” (p. 181).

2.2.5.3. METODOS DE DISEÑO DE MEZCLA

1. MÉTODO DEL COMITE 211 DEL ACI

“Cuando se emplea el método del Comité 211 del ACI, siendo la secuencia que a continuación se indica” (Rivva, 1992, p. 130):

1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión especificada y/o la desviación estándar de la compañía constructora.
2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado.
3. Selección del asentamiento.
4. Selección del volumen unitario del agua de diseño.
5. Selección del contenido de aire.
6. Selección de la relación agua - cemento por resistencia y durabilidad.
7. Determinación del factor cemento.
8. Determinación del contenido de agregado grueso.
9. Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso.
10. Determinación del volumen absoluto del agregado fino.
11. Determinación del peso seco del agregado fino.
12. Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso.
13. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
14. Determinación de la proporción en peso, de diseño y de obra.
15. Determinación de los pesos por tanda de un saco.

2. MÉTODO DEL AGREGADO GLOBAL

Rivva (1992) menciona:

“La norma peruana ITINTEC 400.037 al referirse al hormigón indica que es “un agregado que se usa en la elaboración de concreto y que no está contemplado en la presente Norma. Se incluye sólo como definición y corresponde a una mezcla natural de finos y gruesos... la misma Norma, en su acápite 10, presenta un apéndice que define el hormigón caso agregado global indicando que es el material compuesto de la mezcla de agregado fino y agregado grueso y cuya granulometría cumple con los límites indicados en la tabla A1” (p. 199).

2.2.6. PAVIMENTO

2.2.6.1. DEFINICIÓN

Montejo (2008) menciona:

“Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento” (p. 1).

2.2.6.2. CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR UN PAVIMENTO

“Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos” (Montejo, 2008, pp. 1 - 2):

1. Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
2. Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
3. Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
4. Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
5. Debe ser durable.
6. Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
7. El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
8. Debe ser económico.
9. Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.2.6.3. CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS

"En nuestro medio los pavimentos se clasifican en: Pavimentos rígidos, pavimentos semirígidos, pavimentos flexibles y pavimentos articulados" (Montejo, 2008, p. 2).

1. PAVIMENTOS FLEXIBLES

"Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra" (Montejo, 2008, p. 2).

2. PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS

Montejo (2008) afirma:

"Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción" (p. 5).

3. PAVIMENTOS RÍGIDOS

Montejo (2008) afirma:

"Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub rasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub rasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento" (p. 5).

4. PAVIMENTOS ARTICULADOS

Montejo (2008) afirma:

“Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concretos prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la sub rasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento” (p. 7).

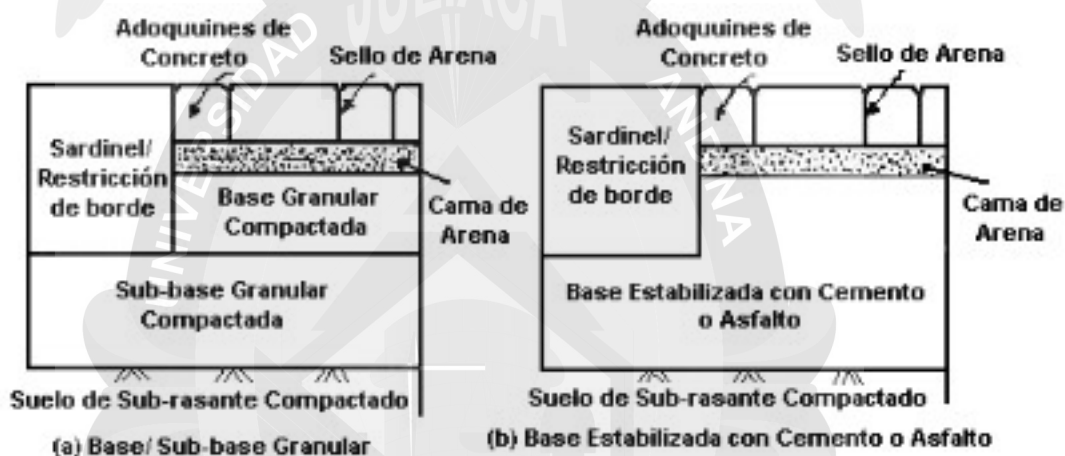


Figura 13. Secciones transversales típicas
Fuente: RNE, CE.010 (2016).

RNE (2016) señala que:

“En la Figura 13 (a), tanto la base como la sub base están compuestas de materiales granulares. También se pueden usar bases estabilizadas con asfalto o cemento, como se muestra en Figura 13 (b). Se requiere restricción a lo largo de los bordes de los pavimentos de adoquines intertrabados de concreto para prevenir el movimiento de las unidades debido a las fuerzas del tráfico. Tales movimientos pueden ocasionar la abertura de las juntas y la pérdida de trabazón entre los elementos. La restricción de borde mostrada en la Figura 13 puede conseguirse con diferentes diseños de sardineles” (p. 70).

2.2.7. PRODUCCIÓN Y COSTO ECONÓMICO

2.2.7.1. INTRODUCCIÓN

Elizalde (2012) menciona:

“El objetivo principal de las empresas es la de maximizar sus utilidades, obteniendo una diferencia positiva entre sus ingresos totales y sus egresos totales. Para que el empresario pueda tomar decisiones más adecuadas, tiene que relacionar sus posibilidades de producción con los costos... la producción es entendida como un conjunto de acciones encaminadas a la transformación de materias naturales, y materias primas en bienes y servicios que le sean útiles a la población para satisfacer sus necesidades... otro aspecto que debe considerar toda empresa es la cantidad que deberá de producir y el precio que cobrará, ello va a depender del mercado en donde opere la empresa. De igual manera, la empresa debe considerar la relación entre la producción y los costos dependiendo de qué tiempo en que quiera actuar, esto es diferenciando entre el corto y largo plazo” (p. 75).

2.2.7.2. PRODUCCIÓN

1. DEFINICIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Elizalde (2012) menciona:

“La producción es un conjunto de acciones encaminadas a la transformación de materias naturales y materias primas en bienes y servicios que le sean útiles a la población para satisfacer sus necesidades. El proceso de producción se realiza en las empresas, las cuales integran ramas productivas y el conjunto de estas conforman los sectores económicos. Para la ejecución de la producción las organizaciones necesitan contar con una serie de elementos que les permitan llevar a cabo el proceso de transformación; dichos elementos son los factores de la producción” (p. 76).

2. FACTORES DE LA PRODUCCIÓN

“Los factores de la producción son los elementos con los que cuenta una organización para llevar a cabo la producción y se agrupan en: tierra, trabajo, capital y habilidades empresariales” (Elizalde, 2012, p. 76).

- a) **LA TIERRA:** "Este factor lo constituyen todos aquellos recursos de la naturaleza en los cuales no existe intervención del hombre para su existencia y que cuando son utilizados por el hombre se convierten en capital" (Elizalde, 2012, p. 76).
- b) **EL TRABAJO:** "El trabajo es la condición primera y fundamental de la existencia humana. Gracias al trabajo el hombre se separó del mundo animal, empezó a elaborar sus instrumentos de producción y pudo desarrollar sus facultades y a sí mismo" (Elizalde, 2012, p. 77).
- c) **EL CAPITAL:** "Son los recursos económicos susceptibles de reproducirse, el valor de los medios de producción sólo se transfiere al producto mediante el trabajo. El capital está constituido por la maquinaria, equipo, mobiliario, instalaciones, etc." (Elizalde, 2012, p. 77).
- d) **LAS HABILIDADES EMPRESARIALES:** "Son el conjunto de actividades encaminadas a la dirección y organización, sistematización y conducción para llevar a cabo el proceso productivo y es desarrollada por los economistas, gerentes, administradores, etc." (Elizalde, 2012, p. 78).

3. LA FUNCIÓN DE LA PRODUCCIÓN

"Es una expresión matemática que relaciona la máxima cantidad de un bien que se puede producir en un periodo de tiempo con diferentes combinaciones de trabajo, capital, recursos naturales y tecnología. Lo que se puede expresar de la siguiente manera" (Elizalde, 2012, p. 78):

$$P = f (\text{trabajo, capital, tierra})$$

"Una forma muy generalizada de presentar la función de producción es" (Elizalde, 2012, p. 79):

$$P = f (C, T)$$

"La producción es representada gráficamente, a través de un plano cartesiano, donde en el eje de las abscisas se coloca el factor trabajo y en el eje de las ordenadas a la producción. Como puede observarse en la Figura 14" (Elizalde, 2012, p. 79).

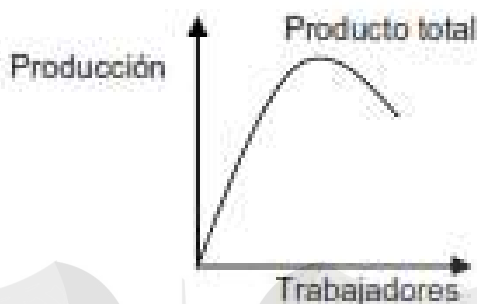


Figura 14. Representación gráfica de la producción
Fuente: Microeconomía. Elizalde (2012).

2.2.7.3. COSTO ECONÓMICO

Elizalde (2012) afirma:

“El objetivo principal de las empresas es maximizar sus utilidades obteniendo una diferencia positiva entre sus ingresos y egresos. Cualquier empresa grande o pequeña debe evaluar sus gastos y costos antes de tomar cualquier decisión. Se debe señalar la diferencia entre gastos y costos, ya que, aunque son usados de manera indistinta, tienen diferentes connotaciones al interior de las empresas. El conocimiento y análisis de costos y gastos es determinante en la toma de decisiones cuyo eje central es la minimización de costos y la maximización de ganancias” (Elizalde, 2012, p. 88).

1. COSTOS Y GASTOS

LOS COSTOS: “El costo está determinado por la cantidad de trabajo incorporado en la mercancía. Así, el costo es el pago a todos los insumos o factores de producción que participan en la elaboración de un producto” (Elizalde, 2012, p. 89).

LOS GASTOS: “El gasto es la parte económica que tiene que sacrificar la empresa para adquirir bienes o servicios necesarios para la operación normal de la firma y, que no se espera la recuperación de estos egresos en un futuro” (Elizalde, 2012, p. 88).

2. CLASIFICACIÓN DE COSTOS

a) COSTOS EN EL CORTO PLAZO

“Toda empresa que genere más producción en el corto plazo, debe emplear más trabajo, lo que significa un aumento en sus costos. En el corto plazo la empresa incurre en costos denominados costos totales” (Elizalde, 2012, p. 90).

LOS COSTOS TOTALES (CT): "Es la suma de todos los costos en que incurre la organización para llevar a cabo el proceso productivo. El costo total se obtiene sumando los costos fijos (CF) y los costos variables (CV)" (Elizalde, 2012, p. 90).

$$CT = CF + CV$$

LOS COSTOS FIJOS: "Son gastos que realiza la empresa y que no cambian, aunque el nivel de producción varíe o se produzcan mercancías diferentes. Los costos fijos totales son constantes ya que son los gastos que por fuerza tiene que realizar la organización para su operación" (Elizalde, 2012, p. 91).

LOS COSTOS VARIABLES: "Son aquellos costos que varían en forma proporcional, de acuerdo al nivel de producción o actividad de la empresa. Son los costos por producir o vender" (Elizalde, 2012, p. 91).

b) **COSTOS EN EL LARGO PLAZO**

"En el largo plazo, no hay costos fijos ni costos variables, son costos de producción que se integra por el pago a los factores productivos cuando se sabe qué se va a producir, cómo se va a producir y en qué cantidad se va a producir" (Elizalde, 2012, p. 93).

COSTO DE PRODUCCIÓN: "El costo de producción es la cantidad de factores o recursos necesarios para realizar la producción y el precio que se tiene que pagar por el uso de esos factores" (Elizalde, 2012, p. 93).

2.3. CONCEPTUAL

ABSORCIÓN: Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

ADITIVO: Producto químico o mineral que modifica una ó más propiedades de un material o mezcla de éstas.

ADOQUÍN: Piedra labrada, concreto u otro material en forma de un prisma para uso en pavimentos.

ADOQUINADO: Tipo de pavimento cuya superficie de rodadura está formada por adoquines.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO O MECÁNICO: Procedimiento para determinar la granulometría de un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

CEMENTO PORTLAND: Es un producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la adición eventual de yeso natural.

CONCRETO: Mezcla de material aglomerante y agregados fino y grueso. En algunos casos se agrega aditivos para proporcionarle cualidades que no poseen y en otros para mejorar los que poseen.

CONGLOMERANTE: Se denomina conglomerante al material capaz de unir fragmentos de uno o varios materiales y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas en su masa que originan nuevos compuestos. Los conglomerantes son utilizados como medio de ligazón, formando pastas llamadas morteros o argamasas. Los conglomerantes más utilizados son el yeso, la cal, y el cemento.

CURADO: Procedimiento para mantener el concreto en condiciones de humedad y temperatura satisfactorias para la hidratación del cemento durante un período definido, que inicia inmediatamente después de la colocación y acabado del concreto.

DISEÑO DE MEZCLA: Proceso mediante el cual se proyecta el diseño de una determinada mezcla, para una resistencia determinada.

DOSIFICACIÓN: Es la proporción en peso y en volumen de los distintos elementos integrantes de una mezcla.



EXUDACIÓN: Forma particular de segregación, donde el agua tiende a migrar a la superficie y crea una capa delgada, débil y porosa sin resistencia y deficiente durabilidad.

HIDRATACIÓN: Calor desarrollado por reacciones químicas de una sustancia con el agua tal como el desarrollo durante el fraguado y endurecimiento del cemento Portland.

FRAGUADO: Es la condición del concreto alcanzada cuando ha perdido la plasticidad en un grado arbitrario, esta condición es medida en términos de resistencia a la penetración o deformación.

GRANULOMETRÍA: Es la técnica que tiene por objeto la medida y la determinación de la forma y tamaño del agregado.

MEZCLADO: Es la incorporación de los componentes del concreto hasta el grado en que las reacciones entre sí se completen; esta puede llevarse a cabo mediante medios manuales o mecánicos.

PAVIMENTO: Estructura compuesta por capas que apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso denominado periodo de diseño y dentro de un rango de serviciabilidad. Esta definición incluye pistas, estacionamientos, ceras o veredas, pasaje peatonales y ciclo vías.

RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C): La razón de la cantidad de agua en peso, excluyendo aquella que absorben los agregados, a la cantidad en peso de cemento.

SEGREGACIÓN: La separación involuntaria de los constituyentes del concreto o las partículas de agregado, provocando una falta de uniformidad en su distribución.

TRABAJABILIDAD: Es la mayor o menor facilidad que presenta un concreto o mortero de ser mezclado, transportado y colocado.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente capítulo comprende la definición del tipo, nivel, técnicas y procedimientos de la investigación a realizarse. Se conoce el proceso de recolección y posterior trituración del vidrio, los ensayos físicos y mecánicos de los agregados, obteniendo los datos necesarios para posteriormente realizar un diseño de mezcla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, además del conjunto de técnicas y procesos que se emplean para cumplir con los objetivos establecidos dentro de la investigación. El enfoque de la investigación es: **Cuantitativo**, porque se tendrá resultados del laboratorio con datos cuantitativos.

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el presente estudio se empleará el tipo de investigación: **Experimental**.

La investigación a realizarse es de carácter experimental, por el hecho de que se tienen que ejecutar ensayos físicos para caracterizar los agregados, para posteriormente realizar ensayos a compresión de las diversas muestras de adoquines con mezcla patrón, dosificadas cuidadosamente solo con agregado fino y los otros adoquines con mezcla con inclusión de vidrio triturado en reemplazo parcial del agregado fino, que corresponden al 10%, 20% y 30% según lo mencionado en el alcance de nuestro proyecto.

En este trabajo se establece que al reemplazar vidrio triturado en porcentajes que van del 0% al 30% la resistencia a la compresión, estos adoquines deberán de alcanzar la resistencia del adoquín convencional de 280 kg/cm^2 , que es lo requerido para nuestro diseño. El fin es establecer una comparación entre las resistencias obtenidas sin adición de vidrio y con adición del mismo, para plantear como alternativa el uso el vidrio triturado como un material que forme parte del concreto y aporte al desarrollo de la construcción sostenible en nuestro país.

3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Para el presente estudio se empleará el nivel de investigación: **Explicativo**.

La investigación es de nivel explicativo, porque va de lo particular a lo general, porque mediante la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos se determinan las propiedades físicas y mecánicas del adoquín de concreto utilizando como material aportante el vidrio triturado.

Para poder desarrollar nuestra investigación y por ende obtener resultados apropiados que estén acorde a la normativa, se requiere de la elaboración de adoquines convencionales con mezcla patrón y adoquines con la adición de vidrio triturado en diferentes porcentajes ya establecidos, las cuales serán elaboradas reemplazando parcialmente el agregado fino, para finalmente ser ensayadas en el laboratorio en busca de cumplir con los objetivos establecidos.

3.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.2.1. TÉCNICAS

Esta investigación se realizó a través de la aplicación de tablas, proporciones y procedimientos establecidos en las Normas Técnicas:

1. NTP 400.012 - ASTM C-136: Granulometría, empleada para el agregado fino y el vidrio.
2. NTP 400.022 - ASTM C-128: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción, empleada para el agregado fino.
3. NTP 339.185 - ASTM C-566: Contenido de Humedad, empleada para el agregado fino y el vidrio.
4. NTP 400.017 - ASTM C-29: Método de ensayo para determinar el peso unitario, empleada al agregado fino y vidrio.
5. NTP 400.018 - ASTM C-117: Material más fino que pasan por el tamiz normalizado 75mm (No. 200) por lavado en agregados.
6. NTP 339.035 - ASTM C-143: Método de ensayo para la medición del revenimiento del concreto con el cono de Abrams.
7. NTP 399.604: Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto.
8. NTP 399.611: Unidades de albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos.

3.2.2. INSTRUMENTOS

Para la ejecución de las técnicas y/o métodos antes mencionados se utilizará los siguientes instrumentos:

- a) **La observación:** Esta observación y visita que se realiza es la zona en estudio. Nos dará a entender la magnitud del problema. Se usará fotografías de los ensayos realizados.
- b) **Guía de análisis de contenidos:** Se contará con varias de guías de estudio como, por ejemplo: Guía de laboratorio de mecánica de suelos, guía de tecnología de concreto, guía de diseño de pavimentos, manual de costos y presupuestos.
- c) **Documentación:** En esta etapa se recolectó información de reglamentos, normas, artículos, informes, libros, tesis y demás fuentes teóricas referentes al análisis y diseño de pavimentos articulados, para su posterior revisión, tomándolas como apoyo para el desarrollo de esta investigación.
- d) **Experimento:** Se llevarán muestras de adoquines de concreto con vidrio reciclado al laboratorio, para su respectivo análisis y obtener datos que conlleven a la ayuda de la investigación.

3.3. PROCEDIMIENTOS

En el presente trabajo de investigación se realizaron trabajos de campo como muestreo y reconocimiento de la cantera "Malcomayo; donde se realizaron ensayos a los agregados y se elaboraron unidades de adoquines de concreto con los instrumentos adecuados.

Así también se hizo uso de instrumentos adecuados para la recolección de datos en función a documentos oficiales existentes, y se procedió con los diseños correspondientes según las especificaciones técnicas para adoquines de concreto para pavimentos. De la misma forma el muestreo y reconocimiento de los sitios donde se expenden vidrios, para su recolección de vidrio en su estado inservible y/o desechable, para su posterior tratamiento respectivo para la adición al concreto para adoquines.

3.3.1. ETAPAS DEL PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO

ETAPA 1:

En esta etapa se realiza la revisión bibliográfica, recopilación de datos o búsqueda de información, de todo lo referente al tema de investigación; que en el presente trabajo fueron libros de la especialidad, trabajos anteriores afines realizados y páginas web especializadas.

- ❖ Consulta Bibliográfica
- ❖ Diseño de experimentos indicando la cantidad de ensayos a realizar.
- ❖ Ensayos de caracterización de los componentes del adoquín a utilizar.
- ❖ Diseño de mezclas de concreto.
- ❖ Recolección y análisis de datos de esta primera etapa.

ETAPA 2:

En esta etapa se hace la extracción y transporte de los agregados y vidrios reciclados, de la cantera y/o tiendas comerciales seleccionadas al laboratorio de mecánica de suelos, concreto y asfalto UANCV - Filial Puno. La experimentación, los cuales consistieron en la determinación del tamaño máximo del agregado, la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del agregado y vidrio a usar; las cuales se detallan en el diseño de mezcla, donde nos proporciona los datos necesarios empleadas por el método de agregado global. Según el análisis y alcance de los resultados se encontrarán, como a continuación se detalla:

- ❖ Se realizará la composición, propiedades físicas y mecánicas de los materiales a emplear para la elaboración del adoquín de concreto con vidrio reciclado, según las normas de la NTP y ASTM.
- ❖ Se analizará y diseñará los comportamientos de los materiales bajo un diseño de dosificación de concreto.
- ❖ Se tendrá que realizar el diseño de mezclas a diferentes proporciones de vidrio reciclado, haciendo ensayos en el laboratorio.
- ❖ Se realizará los análisis de costos unitarios, para el análisis económico y comparativo de los adoquines de concreto con vidrio reciclado y los adoquines convencionales.



ETAPA 3:

En esta etapa se recoge los datos de laboratorio de mecánica de suelos, concreto y asfalto UANCV - Filial Puno.

El propósito de la investigación es determinar las características importantes en el concreto empleando un material reciclable como es el vidrio triturado en su composición, de tal manera que permita cumplir con la factibilidad de su uso y además permita la utilización de este material en reemplazo de ciertos porcentajes del agregado natural en futuras obras de ingeniería.

Los ensayos realizados fueron: El ensayo de compresión de muestras de adoquines para encontrar la resistencia optima de los adoquines diseñados. También se realiza el ensayo de absorción de los adoquines elaborados y el ensayo de variación dimensional de los adoquines.

Y por último la digitalización de obtención, recolección y análisis de resultados de esta tercera etapa.

3.3.2. PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO

Para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto se presenta el diagrama de flujo del procedimiento experimental, que a continuación se presenta en la Figura 15.

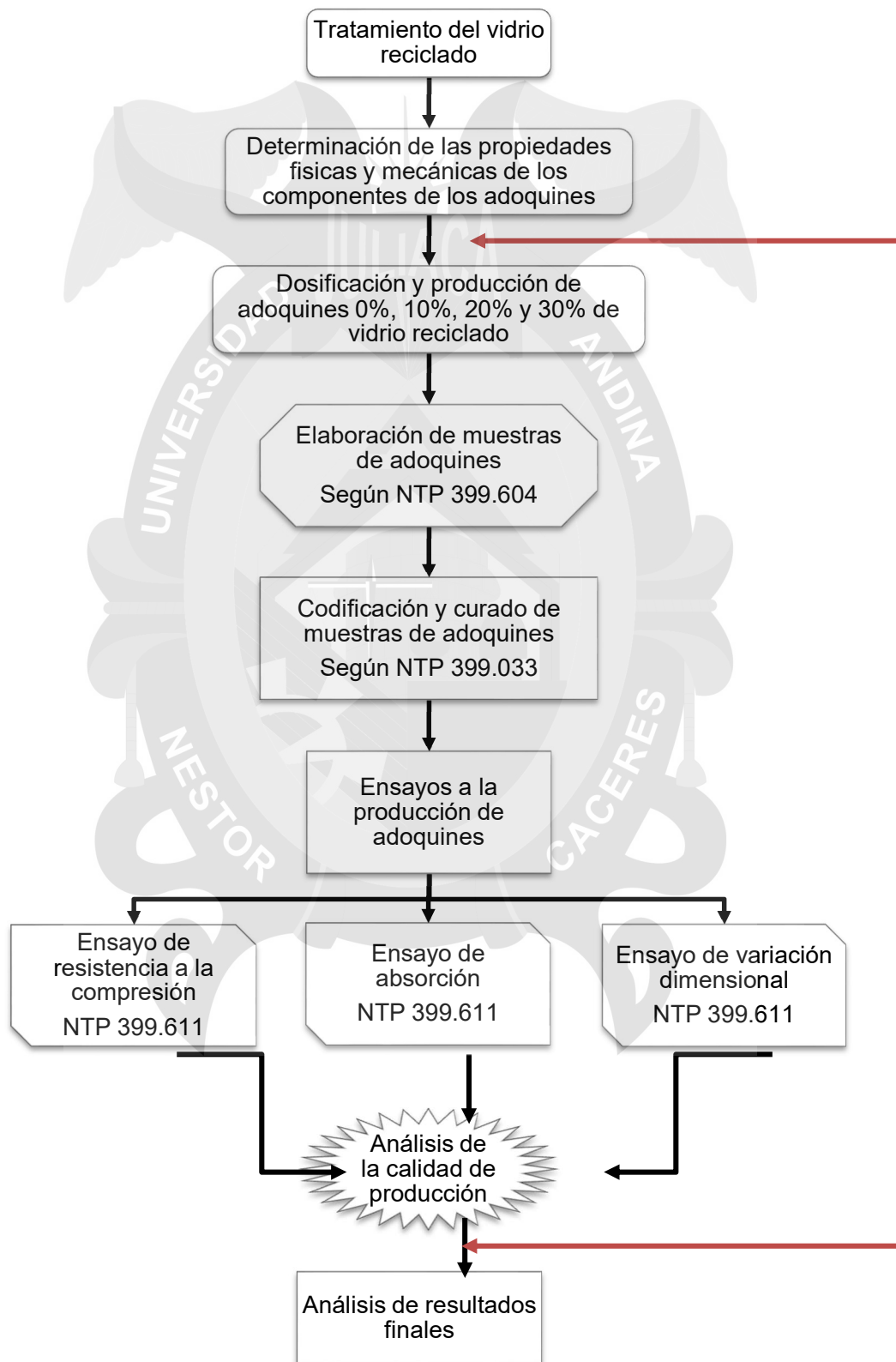


Figura 15. Procedimiento experimental de los adoquines
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS

3.3.3.1. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

1 ENSAYOS REALIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE LOS ADOQUINES

Determinar las propiedades físicas a los componentes de los adoquines con vidrio reciclado.

Ensayos	Norma ASTM	Norma NTP
Granulometría	ASTM C-136	400.012
Contenido de Humedad	ASTM C-566	339.185
Peso específico	ASTM C-128	400.022
Capacidad de Absorción	ASTM C-128	400.022
Peso unitario Suelto y Compactado	ASTM C-29	400.017

Fuente: Elaboración propia.

2. DISEÑO DE MEZCLA ELABORADA

Es un proceso en el cual se necesita calcular las cantidades y proporciones de los componentes que conforman el concreto, con el objetivo primordial de obtener resultados eficientes y una mejora en sus propiedades.

La mayoría de los métodos de diseño de mezclas están dirigidos a la obtención de cierta resistencia con una consistencia determinada. Se asume que, si esto se logra con éxito y el concreto está bien especificado, las otras propiedades también serán satisfactorias.

Es importante saber que se han realizado una gran cantidad de trabajos relacionados a los aspectos teóricos del diseño de mezclas de concreto, en buena parte se entiende que el diseño de mezcla es un procedimiento empírico, y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad determinada, así como la manejabilidad apropiada para un tiempo determinado, además se debe diseñar para unas propiedades que el concreto debe cumplir cuando una estructura se coloca en servicio.

3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES

Se empleará una máquina de ensayo provista de dos soportes rígidos de acero indeformable, cuya superficie de contacto tenga área de $200\text{mm} \times 100\text{mm} \pm 5\text{ mm}$, y una longitud superior a la de la sección a comprobar. La máquina de ensayo tendrá una escala con precisión de $\pm 1\%$ sobre el rango previsto y será capaz de incrementar la carga a la velocidad posteriormente indicada.

La carga se aplicará a través de dos piezas de compresión, cuya anchura será de $15\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, y una longitud que supere en aproximadamente 30 mm la longitud del plano de rotura previsto. Estas piezas de compresión serán de planchas metálicas. Para luego introducirlas en la máquina a compresión, sometiéndolos una fuerza vertical hasta el punto de rotura de cada adoquín, y tomando como dato la lectura que proporcione la máquina digital sobre dicha fuerza.

4. ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES

La absorción de agua se determina mediante la diferencia de masa en seco y sumergida en agua. Se deberá contar con un horno eléctrico cuya capacidad tendrá para 12 adoquines, en la cual la temperatura pueda alcanzar $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Posteriormente las muestras estarán compuestas por 3 adoquines enteros, a las cuales previamente se les habrá quitado el polvo, posibles rebabas, etc. con un cepillo de púas metálicas adecuado.

Situar los adoquines en una poza con agua a $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, totalmente inmersos en ella, manteniéndolos en posición vertical, separados y la superficie libre de agua esté a un mínimo de 20 mm por encima de ellos. Se habrá conseguido una masa constante saturada. El periodo mínimo de inmersión será de 1 día o 24 horas.

Antes de pesar las muestras, cada adoquín será secado con una franela, previamente habrá sido escurrida para extraerle el exceso de agua.

Cada muestra se sitúa entonces en el interior del horno eléctrico. La muestra es secada a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar una masa constante seca.

5. ENSAYO DE VARIACIÓN DIMENSIONAL DE ADOQUINES

Las mediciones de longitud, ancho y espesor, la cual se debe tomar directamente sobre la superficie, apoyando las puntas de los brazos del calibrador.

La longitud real (l_r) y el ancho (a_r) de cada adoquín se deben tomar sobre las prolongaciones del eje mayor y del eje menor del rectángulo respectivamente, sobre la cara de apoyo. Se deben registrar las mediciones para la longitud real (l_r) y las mediciones para el ancho real promedio (a_r) del adoquín respectivamente.

Para el espesor real (e_r) se deben tomar mediciones en aquellos puntos donde las prolongaciones de los ejes mayor y menor del rectángulo inscrito intercepten las paredes. Se deben registrar las mediciones para cada adoquín y se calcula el espesor real promedio (e_r) para cada adoquín.

3.3.2.2. PROCESAMIENTO MANUAL Y COMPUTARIZADO

1. ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS

Se realiza el análisis de costos unitarios para la producción de adoquines con vidrio reciclado y adoquines convencionales.

2. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Realizar los análisis y comparación de resultados, bajo los cuadros estadísticos empleados.

3. REDACCIÓN DEL INFORME FINAL

Realizar el marco teórico, los ensayos, la obtención de resultados, las conclusiones y recomendaciones, anexos y Bibliografía.

3.4. DISEÑO DE LA PRUEBA DE HIPOTESIS

La estadística aplicada permite organizar y clasificar los indicadores cuantitativos obtenidos en la medición, revelándose a través de ellos las propiedades, relaciones y tendencias del fenómeno, que en muchas ocasiones no se perciben de manera inmediata. La forma más frecuente de organizar la información es, mediante tablas de distribución, gráficos, y las medidas de tendencia central como: la mediana, la media, la moda, desviación estándar y varianza.

PROCEDIMIENTOS GENERALES DE UNA PRUEBA DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

HIPÓTESIS ESTADÍSTICA: Es una proposición concerniente a uno o más parámetros de una o más poblaciones. Siempre existirán dos hipótesis contrapropuestas:

- H_0 : Hipótesis nula (afirmación que inicialmente se supone cierta)
- H_a : Hipótesis alternativa (afirmación contradictoria a H_0 y donde cae el peso de la prueba).

Por definición, H_0 se acepta como cierta a no ser que la evidencia muestral apoye fuertemente a H_a . Existen dos conclusiones:

- Rechazar H_0 .
- No rechazar H_0 .

PRUEBA DE HIPÓTESIS: Es un método que emplea datos de una muestra para decidir si se debe rechazar la hipótesis nula o no.

Si Θ es el parámetro de interés, H_0 siempre será de la forma:

$H_0: \Theta = \Theta_0$; donde Θ_0 es un numero denominado valor nulo del parámetro.

Mientras que H_a tendrá una de las siguientes formas:

$H_a: \Theta > \Theta_0$

$H_a: \Theta < \Theta_0$

$H_a: \Theta \neq \Theta_0$

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA: Es una regla con base en datos muestrales, para determinar si se rechaza H_0 . Posee dos componentes:

Estadístico de prueba: en el que se basa la decisión de rechazar o no H_0 . Su distribución de probabilidad se basa en que H_0 es cierta.

Región de rechazo: Conjunto de todos los valores del estadístico de prueba para los cuales H_0 será rechazada.

PASOS PARA REALIZAR UN PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS:

1. Identificar el parámetro de interés y describirlo en el contexto de la situación del problema.
2. Determinar el valor nulo y establecer la hipótesis nula.
3. Establecer la hipótesis alternativa adecuada.
4. Dar la fórmula para el valor calculado del estadístico de prueba, (sustituyendo valores conocidos).
5. Establecer la región de rechazo para el nivel de significancia α especificado.
6. Calcular las cantidades muestrales necesarias, sustituir en la fórmula del estadístico de prueba y calcular ese valor.
7. Determinar si H_0 debe ser rechazada o no y establecer una conclusión en el contexto del problema.

PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA DIFERENCIA DE MEDIAS: (CASO DE MUESTRAS PEQUEÑAS)

Cuando n_1 o n_2 o ambas, son menores de 30 y se desconocen las varianzas poblacionales, se usa el estadístico t , siempre que se pueda suponer razonablemente que las poblaciones son normales. En esta investigación se aplicó la Distribución T de Student. El estadístico de prueba corresponde a:

Ecuación 6: T de Student

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n_1} + \frac{\sigma^2}{n_2}}}$$

Donde:

t = valor estadístico de la prueba t de Student.

\bar{x}_1 = valor promedio del grupo 1.

\bar{x}_2 = valor promedio del grupo 2.

σ^2 = varianza ponderada de ambos grupos.

n_1 = tamaño de la muestra del grupo 1.

n_2 = tamaño de la muestra del grupo 2.

Ecuación 7: Varianza ponderada

$$\sigma^2 = \frac{((n_1-1)*s_1^2) + ((n_2-1)*s_2^2)}{gl}$$

Ecuación 8: Grado de libertad

$$gl = n_1 + n_2 - 2$$

Donde:

σ^2 = varianza ponderada de ambos grupos.

s_1 = valor desviación estándar de la muestra del grupo 1.

s_2 = valor desviación estándar de la muestra del grupo 2.

gl = grado de libertad.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

3.5.1. POBLACIÓN

En la presente investigación fue considerada como población, un diseño de mezcla de concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, para dos tipos de adoquines elaborados tales como: Adoquines de concreto convencionales y adoquines de concreto con la inclusión de vidrio reciclado, este tipo de adoquines, se encuentran clasificados dentro de la norma NTP 399.611.

3.5.2. MUESTRA

La muestra en esta investigación, está conformada por 12 muestras de adoquines elaboradas con el diseño de mezcla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para adoquines convencionales y a su vez 36 muestras de adoquines elaboradas con el diseño de mezcla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ para adoquines con inclusión vidrio reciclado, modificadas en diversas proporciones de 10%, 20% y 30% de agregado fino con vidrio reciclado.

Al usar las dosificaciones del diseño de mezcla, que permitan a los adoquines cumplir con los márgenes de calidad exigidos en Perú, los fabricantes y demás interesados podrían tomar este estudio como punto de partida sólido en cuanto a investigación, para disminuir el uso y explotación de los agregados naturales al reemplazar la cantidad de estos agregados por vidrios reciclados triturados.

3.6. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO:
"TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO"

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVO GENERAL:	HIPÓTESIS GENERAL:	VARIABLE INDEPENDIENTE:			
¿Cuál es el tratamiento del vidrio reciclado para la producción de adoquines en pavimentos articulados de la ciudad de Puno?	Tratar el vidrio reciclado para la producción de adoquines en pavimentos articulados de la ciudad de Puno.	El tratamiento del vidrio reciclado para la producción de adoquines tendrá directa aplicación en pavimentos articulados de la ciudad de Puno.	Tratamiento del vidrio reciclado.	Reciclado y tratamiento del vidrio.	Instrumentos y equipos de laboratorio de tecnología de concreto	m ³ , kg, cm ³ , g, l, m, m ²
PROBLEMAS ESPECÍFICOS:	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:	VARIABLE INTERVINIENTE:			
1. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los componentes para la producción de adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20 % y 30% con vidrio reciclado en pavimentos articulados?	1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los componentes para la producción de adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20 % y 30% con vidrio reciclado en pavimentos articulados.	1. Las propiedades físicas y mecánicas de los componentes satisfacen los requisitos para la producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30 % con vidrio reciclado en pavimentos articulados, según fijados en la N.T.P. y A.S.T.M.	10%, 20% y 30% con vidrio reciclado.	Peso específico, % Absorción, Contenido de humedad, peso unitario suelto, peso unitario compactado y granulometría.	Instrumentos y equipos de laboratorio de tecnología de concreto (Tamices, horno eléctrico, balanzas electrónicas, plenómetro, fiola, cubetas, moldes, baldes u otros)	g/cm ³ , kg, m ³ , cm ³ , g, l, m, m ² , días, und
2. ¿Por qué analizar la producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado, según diseño de mezcla f'c=280kg/cm ² ?	2. Analizar la producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado, según diseño de mezcla f'c=280 kg/cm ² , para obtener la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.	2. La producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado, según diseño de mezcla f'c=280 kg/cm ² , que satisfactoriamente la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días, según disposición de la N.T.P.	VARIABLE DEPENDIENTE:	Dosificación, Mezclado, Moldeado, Fraguado, Curado, Almacenamiento	Instrumentos y equipos para diseño de mezclas (cono de abrams), molde metálico para adoquines.	kg/cm ²
3. ¿Cuál es el costo comparativo de la producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado?	3. Elaborar el costo comparativo de la producción de los adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado.	3. El costo producción de los adoquines a proporciones de: 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado, comparadas con el costo de producción de los adoquines con 0% de vidrio reciclado serán relativamente bajas.	Producción de adoquines en pavimentos articulados.	Diseño de mezcla del concreto	Equipos de rotura a la compresión Simple, Vermier, horno eléctrico	Kg/cm ² , mm, gr, cm ³
				Resistencia a la compresión, variación dimensional y absorción de adoquines	Cantidad de materiales, pago de personal, precios de materiales, rendimientos, tiempo y herramientas	S/, m ² /día, h-h
				Análisis de costos unitarios		

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y CÁLCULOS

4.1. ORIGEN DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE

4.1.1. LA CANTERA DE MALCOMAYO - ORIGEN

El agregado fino a utilizarse para el estudio, son originarios de la cantera "Malcomayo", ubicada en el sector de Cutimbo, en el distrito de Puno, provincia de Puno.

Esta cantera se encuentra en camino a Moquegua, el clima en este lugar es seco y frío, con temperaturas que van desde los 1 °C hasta los 14° C; con una altitud sobre los 3,912 msnm y las coordenadas UTM son las siguientes: 390,700.07 m E y 8'233,551.59 m S

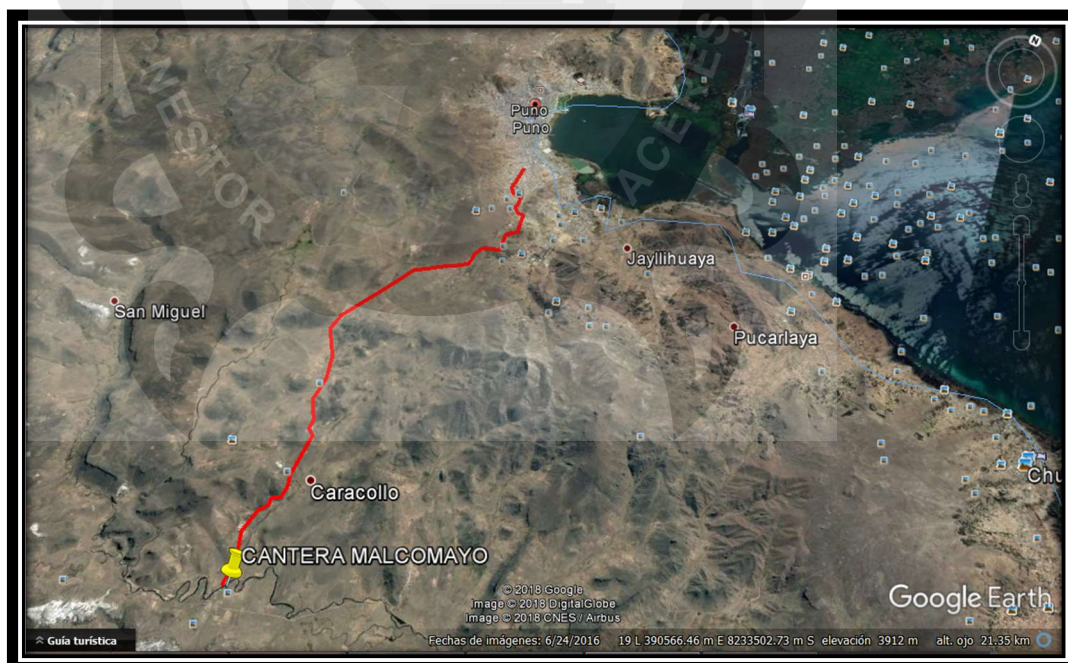


Figura 16. Ubicación de cantera Malcomayo
Fuente: Google earth

4.1.2. VIDRIO - ORIGEN

Los vidrios a reciclar y reutilizar en el estudio, están ubicada en el Barrio Jorge Chávez en toda la Av. El Sol, de la ciudad de Puno, en especial las tiendas de vidrios.

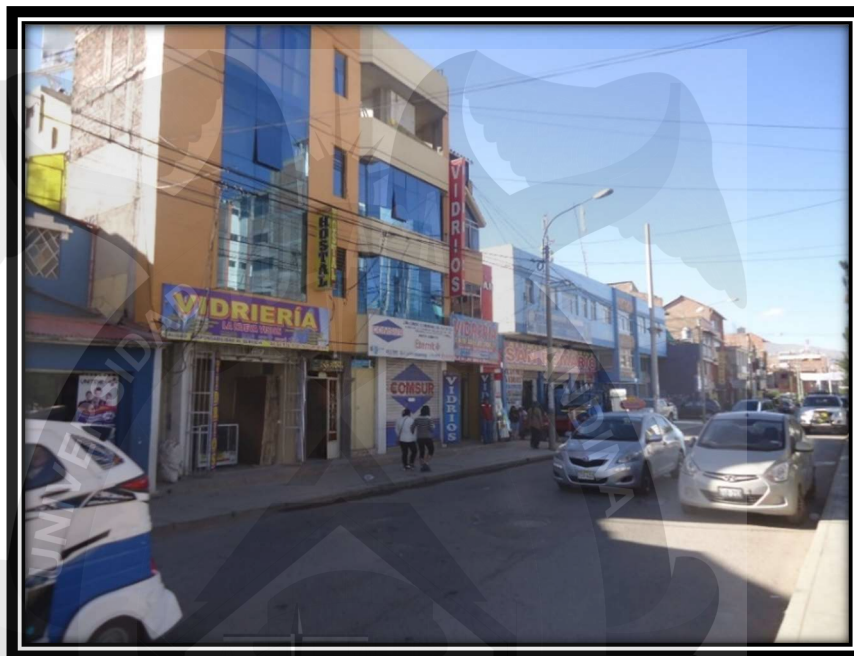


Figura 17. Ubicación de tiendas de vidriería

4.2. TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO

El aporte del presente proyecto consiste en emplear vidrio en reemplazo parcial de los agregados tradicionales, mismo que se analiza para diferentes granulometrías y proporciones, a fin de determinar su influencia en la resistencia a la compresión.

El vidrio usado reemplaza en forma parcial a los agregados tradicionales. Este proviene en su mayoría de vidrierías y botellas desechadas. Los materiales ajenos al vidrio se retiran de forma manual, a fin de evitar contaminantes que incidan en las etapas de fabricación o en las propiedades mecánicas finales. El vidrio desechado se encuentra en diversos tamaños, razón por la cual el vidrio debe ser triturado y/o molido. Se busca alcanzar una granulometría que cumpla los requisitos para ser empleada como agregado en el adoquín.

4.2.1. DISPONIBILIDAD DEL VIDRIO RECICLADO

El presente proyecto al estar enfocado en el reciclaje de un producto debe considerar la disponibilidad del mismo. El proyecto se enfoca principalmente en los vidrios silícico-sódicos, que se obtienen de las tiendas empresariales dedicadas a la instalación de vidrio. Se parte de la cantidad de desechos

producidos estas empresas, cuya cantidad de desecho no son tratadas por que solo van al botadero de Cancharani – Puno.

La generación de residuos sólidos de la ciudad de Puno está en la siguiente tabla:

Tabla 18
Generación de los residuos sólidos reaprovechables

N°	Tipo de residuos sólidos	% de la composición física de los residuos sólidos %/100	Generación de residuos sólidos reaprovechables (Ton/mes)
1	Papel	0.0368	43.43
2	Plástico PET	0.0460	54.29
3	Plástico duro	0.0742	87.57
4	Cartón	0.0467	55.12
5	Metales ferrosos y latas	0.0371	43.79
6	Vidrio	0.0658	77.66
	TOTAL	0.3066	361.86

Fuente: Municipalidad Provincial de Puno

4.2.2. RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN DEL VIDRIO RECICLADO

Para iniciar la etapa experimental se realizó la recolección del material de sobrantes de vidrio usado a lo largo del desarrollo del proyecto, se utilizaron 8.50 kg de escombros de vidrio, fue tomado de sobrantes o reciclados por los señores empresarios dedicado a la instalación de vidrio, en la quinta, sexta y séptima cuadra de la Av. El Sol de la ciudad de Puno.

El transporte se realizó en cajas y fueron almacenadas en el Laboratorio de mecánica de suelos, concreto y asfalto de la UANCV-Filial Puno, para su fácil disposición del mismo.

4.2.3. TRITURACIÓN DEL VIDRIO RECICLADO

Inicialmente se propuso triturar los vidrios en dos etapas, manual para reducirlo a tamaños que la trituradora pueda recibir, y mecánicamente para que así ella realice la segunda etapa, hasta ser reducidos a tamaños no mayores al tamiz N° 4, pero debido a que la trituradora que se pretendía utilizar no se pudo conseguir, lo cual complica la trituration, así mismo el reciclado y el almacenamiento del vidrio para ser triturado por la máquina trituradora requiere grandes cantidades de vidrio, por esto se optó por realizar todo el proceso de triturado manualmente lo que produjo algunos retrasos.



Figura 18. Trituración manual del vidrio reciclado

4.2.4. TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO

Se busca dos granulometrías, una fina y una gruesa, que permitan analizar la influencia del tamaño de las partículas de vidrio reciclado molido.

En general, las granulometrías de los agregados empleados en la producción de adoquines deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma técnica peruana.

Esta norma considera como agregados finos a aquellos que pasan por una malla N° 4 (4.76mm) de abertura, los valores indicados en la Tabla 19.

Tabla 19
Análisis granulométrico para tratamiento del vidrio

Malla	Dímetros	Porcentaje
9.52 mm	3/8"	100
4.76 mm	Nº 4	95 a 100
2.36 mm	Nº 8	80 a 100
1.18 mm	Nº 16	50 a 85
595 micrones	Nº 30	25 a 60
297 micrones	Nº 50	10 a 30
149micrones	Nº 100	2 a 10

Fuente: NTP 400.012

4.2.5. PROCESAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO

El proceso que debe atravesar el vidrio reciclado se lo describe a continuación.

1. Recepcionar el vidrio reciclado.
2. Almacenar el vidrio.
3. Triturar manualmente el vidrio.
4. Tamizar el vidrio por la malla Nº 4.
5. Transportar el vidrio triturado manualmente a lugar de acopio.

El vidrio fino queda separado del grueso.

1. El vidrio fino, se transporta al área de materias primas y se almacena.
2. El vidrio grueso, se vuelve a triturar varias veces.
3. Tamizar el vidrio por la malla Nº 4.
4. Transportar el vidrio molido al área de materias primas, según su tamaño.
5. Almacenar el vidrio.

4.2.6. PROPORCIONAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO

Exista una incertidumbre sobre la influencia del vidrio como agregado fino en la resistencia a compresión de los adoquines, para lo cual se analiza de manera experimental esta influencia del vidrio a diferentes proporciones de vidrio.

La proporción del vidrio se realizó en función al peso unitario suelto. Esta alternativa es la adecuada y óptima para la dosificación del concreto, debido a las facilidades de medida en campo.

Se usan cuatro diferentes proporciones de vidrio que permitan determinar la influencia del mismo sobre la resistencia a la compresión. Se acuerda emplear mezclas con 0%, 10%, 20% y 30% por ciento de vidrio en reemplazo del agregado fino.

Según a los resultados obtenidos en laboratorio, se determina la proporción óptima de vidrio que permita obtener la mejor resistencia a la compresión.

4.3. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES DEL ADOQUIN

Previo al diseño de la dosificación del concreto es necesario obtener los datos de las propiedades físicas de los agregados conforme procedimientos regulados por la Norma NTP y ASTM según la siguiente Tabla 20.

Tabla 20
Ensayos y normas para los agregados y vidrio

Ensayos a realizar	Normas
Peso específico	NTP 400.022, ASTM C-128
Porcentaje de Absorción	NTP 400.022, ASTM C-128
Contenido de Humedad	NTP 339.185, ASTM C-566
Peso unitario Suelto y Compactado	NTP 400.017, ASTM C-29
Granulometría	NTP 400.012, ASTM C -136

Fuente: Elaboración propia.

Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de mecánica de suelos, concreto y asfalto de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" Filial Puno.

4.3.1. CEMENTO

El cemento empleado para la realización de los ensayos es cemento puzolánico, de CEMENTOS SUR, como se mencionó anteriormente bajo la marca de "CEMENTO RUMI" cumpliendo con las especificaciones de la norma internacional ASTM C-595 como cemento tipo IP.

4.3.2. AGREGADO FINO

4.3.2.1. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

La norma NTP 400.022 determina la secuencia de trabajo, para la obtención del peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino resumido a continuación:

1. Sumergir en agua por 24 h, el agregado fino previamente secado, con el propósito de llenar con agua los poros.
2. Se retira la muestra del agua, se procede a secar el agua superficial de las partículas.
3. Colocar la muestra en el picnómetro graduado, se procede a pesar y se determina el volumen de la muestra por el método gravimétrico o volumétrico.
4. Finalmente, esta muestra se hace secar al horno y se vuelve a pesar en para determinar peso seco.
5. Utilizando los valores de los pesos obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular el peso específico y el porcentaje de absorción.



Figura 19. Instrumentos para ensayo de peso específico



Figura 20. Peso del picnómetro, con agua y muestra seca

Los datos y el resultado del ensayo de peso específico del agregado fino se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21
Cálculos del peso específico

PESO ESPECÍFICO		
1	MASA DE ARENA EN SSS (g)	500.00
2	MASA DE ARENA SECA (g)	479.70
3	MASA DE PICNÓMETRO + ARENA SSS + AGUA (g)	1610.70
4	MASA DE PICNÓMETRO + AGUA (g)	1313.80
5	PESO ESPECÍFICO	2.36

Fuente: Elaboración propia.

Los datos y cálculos para el ensayo de porcentaje de absorción del agregado fino se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22
Cálculos de la capacidad de absorción

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		
1	MASA DE ARENA EN SSS (g) + RECIPIENTE (g)	570.13
2	MASA DE ARENA SECA + RECIPIENTE (g)	549.83
3	MASA DE RECIPIENTE (g)	70.13
4	MASA DE AGUA (g)	20.30
5	MASA DE ARENA SECA (g)	479.70
6	CAPACIDAD DE ABSORCION (%)	4.23%

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS:

Como se puede observar en la Tabla 21 el valor del **peso específico de 2.36** está dentro de los lineamientos de la Norma NTP 400.022 por lo que el material puede ser utilizado en la fabricación del concreto; de igual manera en la Tabla 22 la **capacidad de absorción de 4.23%** cumple lo establecido en la norma anteriormente mencionada.

4.3.2.2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

La norma determina el procedimiento para la determinación del contenido de humedad del agregado fino resumido a continuación:

1. Empezamos este ensayo seleccionando el agregado fino para lo cual se procede a cuartear.
2. Luego tamizamos nuestro agregado fino por el tamiz N° 4, todo lo que pasa se selecciona para el ensayo.
3. Pesamos el recipiente o tara donde será puesta nuestro material.
4. Luego pesamos nuestro material, sin incluir el peso del recipiente.
5. Después de tener el peso parcialmente seco, se lo introduce al horno con una temperatura de 110 °, por 24 horas.
6. Después de 24 horas se saca del horno, para pesar nuestra muestra y obtener el contenido de humedad.
7. Luego realizamos el cálculo del contenido de humedad en el agregado, mediante la utilización de la siguiente formula:

Ecuación 9: Contenido de humedad

$$P = \left[\frac{(W-D)}{D} \right] * 100$$

Donde:

P: Es el contenido de humedad (%)

W: Es el peso inicial de la muestra (g)

D: Es el peso de muestra seca (g)



Figura 21. Peso tara, peso muestra húmeda y seca de agregado

Los datos y resultados obtenidos para el ensayo de contenido humedad del agregado fino se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23
Cálculos del ensayo del contenido de humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD						
N° Muestra	Peso de la tara (g)	Peso de la tara + material húmedo (g)	Peso húmedo (g)	Peso de la tara + material seco (g)	Peso seco (g)	Contenido de humedad (%)
1	38.30	281.10	242.80	275.00	236.70	2.58%
2	36.40	277.20	240.80	271.10	234.70	2.60%
3	39.50	303.30	263.80	296.70	257.20	2.57%
PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD						2.58%

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS:

De la Tabla 23, el valor del **contenido de humedad para el agregado fino es de 2.58 %**, como estos valores son pequeños se puede decir que los áridos están con una ligera humedad o prácticamente secos por lo que la corrección de humedad va a influenciar en gran manera en la mezcla.

4.3.2.3. ENSAYO PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO COMPACTADO

Para la realización de este ensayo para determinar peso unitario suelto, se procede según la norma NTP, detallado a continuación:

1. Llenar el recipiente con el agregado únicamente con un cucharón, teniendo el cuidado de verter el material desde una altura de 5 cm arriba del borde del recipiente como lo especifica la norma citada, y luego enrasamos a nivel del borde del recipiente.
2. El peso unitario será igual al peso del agregado suelto dividida por el volumen del recipiente.



Figura 22. Instrumentos de peso unitario suelto del agregado fino

Los datos y resultados del ensayo del peso unitario suelto del agregado fino se presentan en la Tabla 25.

Por otro lado, para determinar peso unitario compactado, se procede según la norma NTP, este ensayo se realiza de la siguiente manera:

1. Llenar el recipiente con el agregado hasta 1/3 de su altura (1/3 del volumen).
2. Apisonar con la varilla de acero punta redonda dando 25 golpes repartidos uniformemente sobre la superficie, cuidando no golpear el fondo del recipiente.
3. Colocar otra capa de material hasta los 2/3 de la altura y compactar de acuerdo al procedimiento anterior, cuidando que la varilla penetre en la capa anterior.
4. Llenar el recipiente sobrepasando el borde, compactar y enrasar.



Figura 23. Instrumentos de peso unitario compactado del agregado fino

Los datos y los resultados del ensayo para determinar el peso unitario compactado del agregado fino se presentan en la Tabla 26.

En la siguiente Tabla 24 se presentan los datos del molde para el ensayo.

Tabla 24
Molde para el ensayo de Peso Unitario Suelto y Compactado

DIMENSIONES DEL MOLDE PARA ENSAYO				
1	ALTURA DEL MOLDE (cm)	11.600	11.650	11.625
2	DIAMETRO DE MOLDE (cm)	15.200	15.200	15.200
3	VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)			2,109.459
4	PESO DEL MOLDE (kg)	5.820	5.820	5.820

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25
Cálculos del ensayo de peso unitario suelto

PESO UNITARIO SUELTO (PUS)			
1	MUESTRA SUELTA + PESO DEL MOLDE (kg)	8.817	1er Ensayo
2	MUESTRA SUELTA + PESO DEL MOLDE (kg)	8.853	2do Ensayo
3	MUESTRA SUELTA + PESO DEL MOLDE (kg)	8.834	3er Ensayo
4	MUESTRA SUELTA + PESO DEL MOLDE (kg)	8.835	Promedio
5	PESO DE MUESTRA DE ENSAYO	3.015	Kg
6	PESO UNITARIO SUELTO (PUS)	1,429.276	Kg/m³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26
Cálculos del ensayo de peso unitario compactado

PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC)			
1	MUESTRA COMPACTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.052	1er Ensayo
2	MUESTRA COMPACTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.076	2do Ensayo
3	MUESTRA COMPACTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.089	3er Ensayo
4	MUESTRA COMPACTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.072	Promedio
5	PESO DE MUESTRA DE ENSAYO	3.252	Kg
6	PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC)	1,541.628	Kg/m³

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS:

Viendo la Tabla 25, el **peso unitario suelto del agregado fino es de 1,429.276 kg/m³** y en la Tabla 26, el **peso unitario compactado es de 1,541.628 kg/m³**; el mejor acomodamiento de partículas existe en la compactada.

4.3.2.4. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO

A fin de obtener una granulometría representativa del agregado se realizó el siguiente procedimiento a continuación:

1. Se selecciona el material por cuarteo.
2. Se toma una muestra de 500 g, cada muestra es tamizada manualmente que tiene la serie de tamices (N° 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y fondo) colocados de mayor a menor abertura. Se tamiza el material por el lapso de 5 minutos.
3. Luego se saca de cada tamiz y se pesa el material retenido en cada malla. La diferencia entre la suma de pesos retenidos y el peso inicial de la muestra no debe ser mayor del 1%, caso contrario se repetirá el ensayo. Y se realiza los cálculos según la Tabla 27.



Figura 24. Instrumentos para realizar granulometría

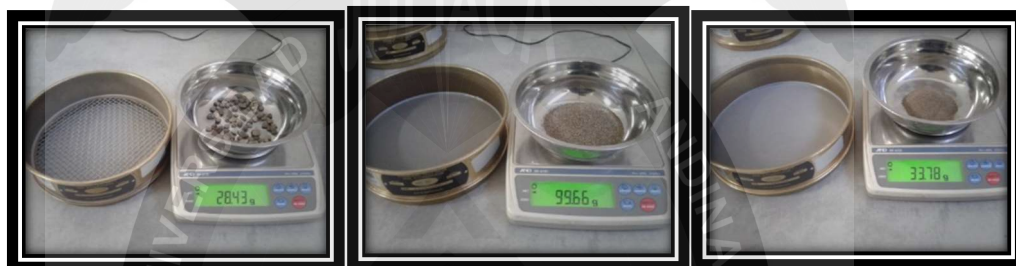


Figura 25. Peso muestras según tamiz retenido

Tabla 27
Cálculos del tamizado del agregado fino

Nº DE MALLAS EN SERIE	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	28.43	5.69	5.69	94.31
Nº 8	2.360	87.22	17.44	23.13	76.87
Nº 16	1.180	103.35	20.67	43.80	56.20
Nº 30	0.600	109.40	21.88	65.68	34.32
Nº 50	0.300	99.66	19.93	85.61	14.39
Nº 100	0.150	33.78	6.76	92.37	7.63
Nº 200	0.070	17.53	3.51	95.87	4.13
FONDO		20.63	4.13	100.00	-

Fuente: Elaboración propia.

La arena a emplear para los adoquines de concreto, tiene un **módulo de fineza de 3.10**. Los resultados de la prueba de granulometría y módulo de fineza del agregado fino se presentan en la Tabla 27.

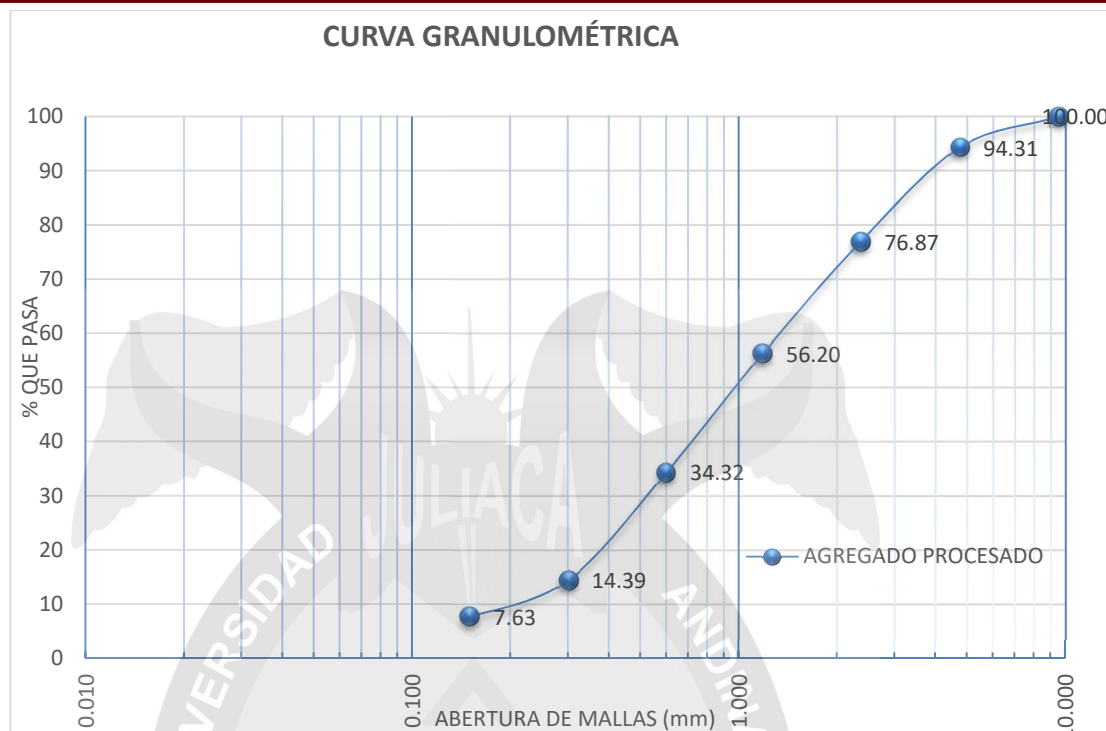


Figura 26. Curva granulométrica con agregado fino

ANÁLISIS:

Los datos de los porcentajes de retención de son llevados a la Ecuación 1 de módulo de fineza, dándonos como resultado el **módulo de fineza de 3.10**, tal como se puede observar en la Tabla 27 y la Figura 26, el agregado tiende hacer fino pero la gran parte de la curva está entre los límites establecidos en la norma NTP 400.012 por lo que se concluye que el agregado es apto para la producción del adoquín.

4.3.3. VIDRIO RECICLADO

4.3.3.1. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

Según la Norma ASTM D 854-58, se determina un valor adimensional denominado, "Peso específico relativo", definido como el coeficiente entre el peso específico del suelo y el peso específico del agua a una temperatura de 20°C. El procedimiento será el siguiente:

1. Colocamos la muestra de vidrio al horno (110°C) por 24 horas.
2. Extraemos la muestra del horno y sacamos una muestra representativa del vidrio.
3. Tamizamos la muestra representativa por el tamiz N°4.

4. Peso de la muestra seca.
5. Pesamos la fiola.
6. Se introduce la muestra a la fiola y se hace hervir hasta eliminar toda la burbuja que contenga en este, luego esperar a que enfríe el agua a una temperatura de 20°C, para pasar posterior paso.
7. Pesamos la fiola + muestra.
8. Pesamos la fiola + agua.
9. Pesamos la fiola + muestra + agua



Figura 27. Peso de la fiola y peso fiola con agua

Para la obtención del peso específico relativo del vidrio se pueda hallarse mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 10: Peso específico relativo

$$G_s = \frac{W_s}{W_s + W_{fm} - W_{fmw}}$$

Donde:

G_s = gravedad específica de los suelos.

W_s = peso de la muestra seca.

W_{fm} = peso de la fiola + agua.

W_{fmw} = peso de la fiola + muestra + agua.

Los datos y el resultado para el ensayo del peso específico del vidrio se presentan en la Tabla 28.



Figura 28. Peso fiola, agua y muestra, peso tara y muestra seca

Tabla 28
Cálculos del peso específico del vidrio

PESO ESPECÍFICO			
N°	SÍMBOLO	ELEMENTOS	PESO
1	Wf	FIOLA (g)	64.23
2	Wm	MUESTRA VIDRIO (g)	65.00
3	Wfm	FIOLA + MUESTRA VIDRIO (g)	129.23
4	Ws	MUESTRA SECA (g)	65.00
5	Wfw	FIOLA + AGUA (g)	163.73
6	Wfsw	FIOLA + MUESTRA + AGUA (g)	202.97
7		PESO ESPECÍFICO	2.52

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente Tabla 29 se resume los valores de la capacidad de absorción del vidrio.

Tabla 29
Cálculos de la capacidad de absorción del vidrio

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
N°	SÍMBOLO	ELEMENTOS	PESO
1	Mvss	PESO DE VIDRIO EN SSS (g)	65.00
2	Mvssr	PESO DE VIDRIO EN SSS (g) + RECIPIENTE (g)	89.43
3	Mvsr	PESO DE VIDRIO SECO + RECIPIENTE (g)	89.32
4	Mr	PESO DE RECIPIENTE (g)	24.43
5	Mw	PESO DE AGUA (g)	0.11
6	Mvs	PESO DE VIDRIO SECO (g)	64.89
7		CAPACIDAD DE ABSORCION (%)	0.17%

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS:

Como se puede observar en la Tabla 28 el valor del **peso específico de 2.52** está dentro de los lineamientos de la Norma ASTM D 854-58, por lo que el material puede ser utilizado; de igual manera en la Tabla 29 la **capacidad de absorción de 0.17%** cumple lo establecido en la norma anteriormente mencionada.

4.3.3.2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Para la realización de este ensayo se procede según la norma NTP detallado en el ensayo realizado al agregado.



Figura 29. Peso de tara, peso húmedo y seco del vidrio

En la siguiente Tabla 30 se resumen los valores del contenido de humedad del vidrio molido con su respectivo promedio.

Tabla 30
Promedio de resultados del ensayo del contenido de humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD						
N° Muestra	Peso de la tara (g)	Peso de la tara + material húmedo (g)	Peso húmedo (g)	Peso de la tara + material seco (g)	Peso seco (g)	Contenido de humedad (%)
1	37.75	201.69	163.94	201.63	163.88	0.04%
2	37.40	154.18	116.78	154.13	116.73	0.04%
3	37.13	182.99	145.86	182.91	145.78	0.05%
PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD						0.04%

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS:

De la Tabla 30, el valor del **contenido de humedad para el vidrio es de 0.04 %**, como estos valores son pequeños se puede decir que los vidrios molidos están prácticamente secos, por lo que la corrección de humedad va a influenciar en gran manera en la mezcla.

4.3.3.3. ENSAYO PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO COMPACTADO

Para la realizar el ensayo del peso unitario suelto se procede según la norma NTP detallado en el ensayo realizado al agregado.

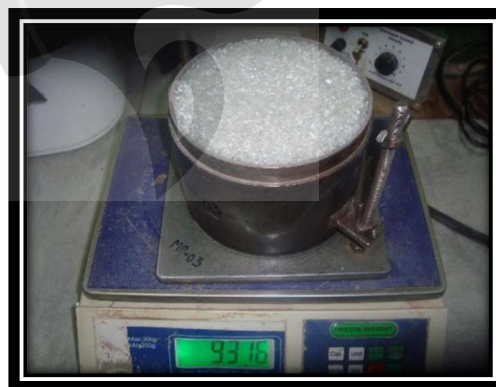
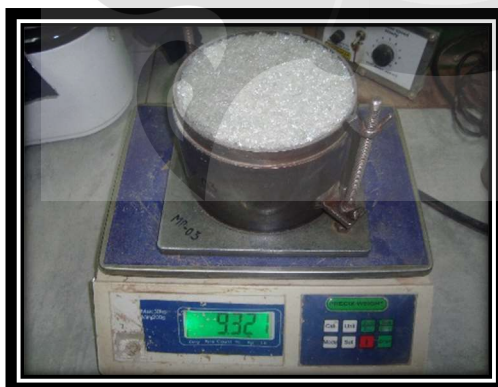


Figura 30. Peso unitario suelto del vidrio molido

El resultado del ensayo para determinar el peso unitario suelto del vidrio se presenta en la Tabla 32.

Para la realización del ensayo de peso unitario compactado se procede según la norma NTP detallado en el ensayo realizado al agregado.



Figura 31: Peso unitario compactado del vidrio molido

Los datos y el resultado del ensayo para determinar el peso unitario compactado del vidrio se presentan en la Tabla 33.

En la siguiente Tabla 31 se presentan los datos del molde para el ensayo.

Tabla 31
Molde para el ensayo de peso unitario suelto y compactado

DIMENSIONES DEL MOLDE PARA ENSAYO			
1	ALTURA DEL MOLDE (cm)	11.700	11.700
2	DIAMETRO DE MOLDE (cm)	15.200	15.200
3	VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)		2,123.068
4	PESO DEL MOLDE (kg)	6.433	6.433

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32
Cálculos del ensayo de peso unitario suelto del vidrio

PESO UNITARIO SUELTO (PUS)			
1	MUESTRA SUELTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.301	1er Ensayo
2	MUESTRA SUELTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.321	2do Ensayo
3	MUESTRA SUELTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.316	3er Ensayo
4	MUESTRA SUELTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.313	Promedio
5	PESO DE MUESTRA DE ENSAYO	2.880	Kg
6	PESO UNITARIO SUELTO (PUS)	1,356.527	Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33
Cálculos del ensayo de peso unitario compactado del vidrio

PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC)			
1	MUESTRA COMPACTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.467	1er Ensayo
2	MUESTRA COMPACTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.487	2do Ensayo
3	MUESTRA COMPACTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.473	3er Ensayo
4	MUESTRA COMPACTA + PESO DEL MOLDE (kg)	9.476	Promedio
5	PESO DE MUESTRA DE ENSAYO	3.043	Kg
6	PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC)	1,433.303	Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS:

Viendo la Tabla 32, el **peso unitario suelto del vidrio molido es de 1,356.527 kg/m³** y en la Tabla 33, el **peso unitario compactado del vidrio molido es de 1,443.303 kg/m³**; el mejor acomodamiento de partículas existe en la compactada.

4.3.3.4. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - MÓDULO DE FINEZA DEL VIDRIO

Para la realización de este ensayo se procede según la norma NTP detallado en el ensayo realizado al agregado.



Figura 32. Instrumentos y muestras de vidrio con agregado fino

Se realizó el ensayo de granulometría a diferentes proporciones de vidrio al 10%, 20% y 30% con el respectivo agregado fino.

Los cuales se muestran los resultados en las Tablas 34, 35 y 36 respectivamente.

Tabla 34
Cálculos del tamizado del agregado fino y 10% vidrio

Nº DE MALLAS EN SERIE	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 8	2.360	85.70	17.14	17.14	82.86
Nº 16	1.180	100.70	20.14	37.28	62.72
Nº 30	0.600	113.50	22.70	59.98	40.02
Nº 50	0.300	98.14	19.63	79.61	20.39
Nº 100	0.150	74.95	14.99	94.60	5.40
Nº 200	0.070	26.61	5.32	99.92	0.08
FONDO		0.40	0.08	100.00	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35
Cálculos del tamizado del agregado fino y 20% vidrio

Nº DE MALLAS EN SERIE	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 8	2.360	99.02	19.80	19.80	80.20
Nº 16	1.180	105.88	21.18	40.98	59.02
Nº 30	0.600	107.87	21.57	62.55	37.45
Nº 50	0.300	104.77	20.95	83.51	16.49
Nº 100	0.150	61.06	12.21	95.72	4.28
Nº 200	0.070	19.67	3.93	99.65	0.35
FONDO		1.73	0.35	100.00	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36
Cálculos del tamizado del agregado fino y 30% vidrio

Nº DE MALLAS EN SERIE	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 8	2.360	86.28	17.26	17.26	82.74
Nº 16	1.180	110.56	22.11	39.37	60.63
Nº 30	0.600	124.96	24.99	64.36	35.64
Nº 50	0.300	86.53	17.31	81.67	18.33
Nº 100	0.150	62.10	12.42	94.09	5.91
Nº 200	0.070	27.49	5.50	99.58	0.42
FONDO		2.08	0.42	100.00	-

Fuente: Elaboración propia.

El vidrio que se utilizará en la elaboración de adoquines: Para el 10% de vidrio con agregado fino, se obtuvo un M.F. de 2.89, para el 20% de vidrio con agregado fino, se encontró un M. F. de 3.03 y para el 30% de vidrio con agregado fino, se tiene un M. F. de 2.97. según los resultados de la Tablas 34, 35 y 36.

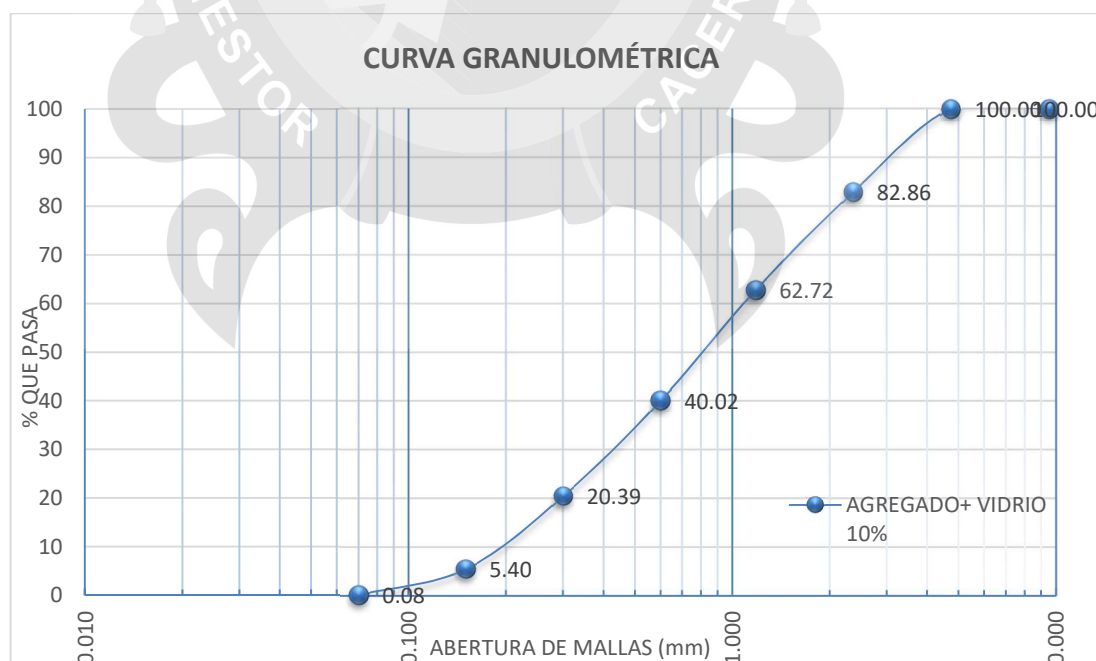


Figura 33. Curva granulométrica del agregado con 10 % vidrio

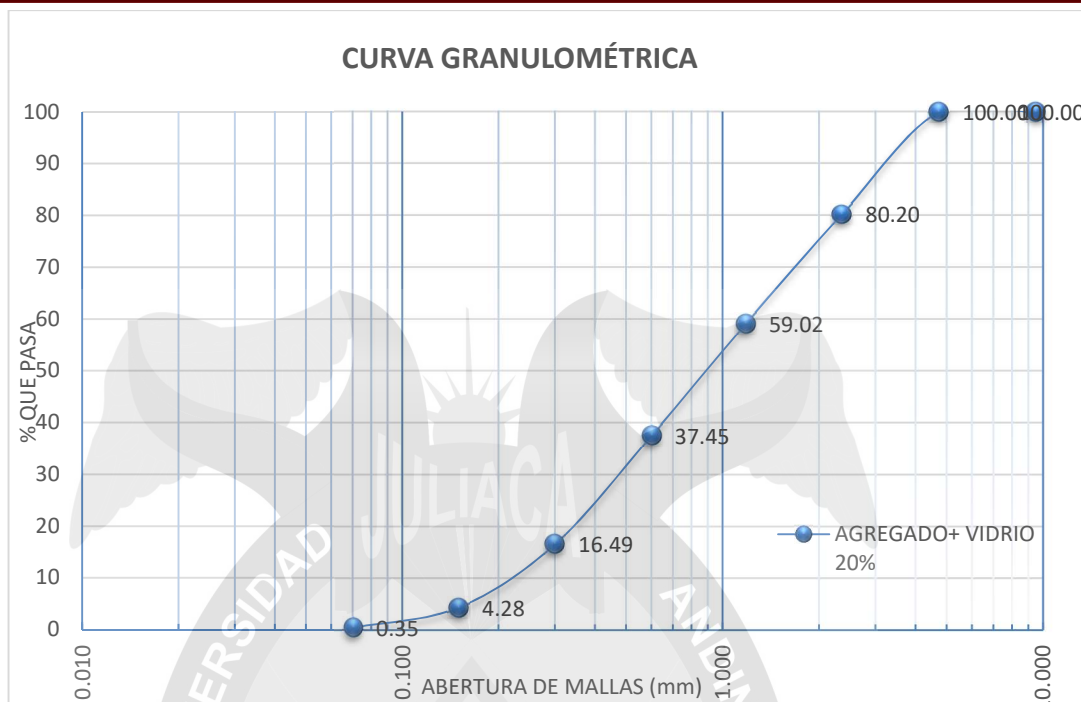


Figura 34. Curva granulométrica del agregado con 20 % vidrio

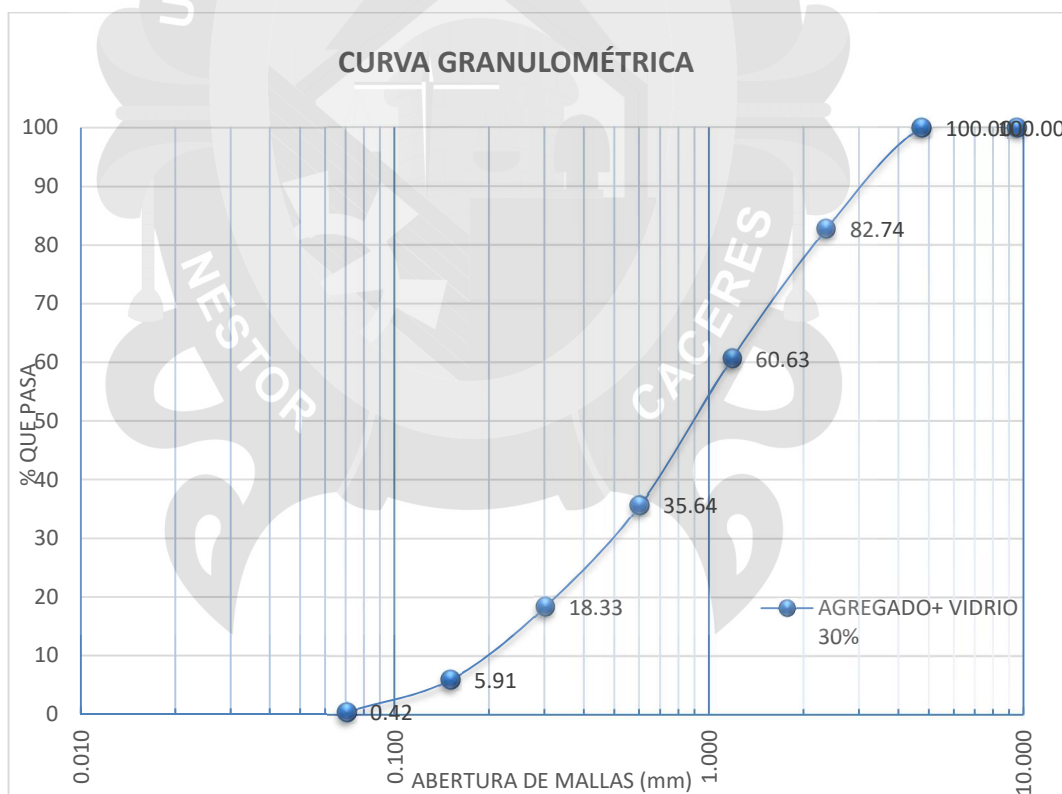


Figura 35. Curva granulométrica del agregado con 30 % vidrio

ANÁLISIS:

Los datos de los porcentajes de retención de son llevados a la Ecuación 1 de módulo de fineza, dándonos como resultado el **módulo de fineza de 2.89, 3.03 y 2.97 para 10%, 20% y 30% de vidrio respectivamente**, tal como se puede observar en las Tablas 34, 35, 36 y la Figuras 33,34 y 35, el agregado y el vidrio tiende hacer fino pero la gran parte de la curva está entre los límites establecidos en la norma NTP 400.012, por lo que se concluye que el agregado con la adición de vidrio es apto para la fabricación de los adoquines planteados en la presente tesis.

4.4. DISEÑO DE MEZCLA

4.4.1. INTRODUCCIÓN

La calidad del concreto está relacionada con la calidad de la pasta y los agregados, así como de la correcta adhesión entre ellos. Es importante que los agregados sean cubiertos en su totalidad por la pasta y no quedan espacios vacíos entre ellos.

4.4.2. MATERIALES

En la producción de los adoquines hay que tener en cuenta ciertas normas y procesos que se deben cumplir, tanto para la materia prima que se utiliza (cemento, agregados, agua, vidrio y aditivo), como para el producto terminado.

1. CEMENTO



Figura 36. Proporción del cemento

2. AGREGADO FINO



Figura 37. Proporción del agregado fino

3. AGUA

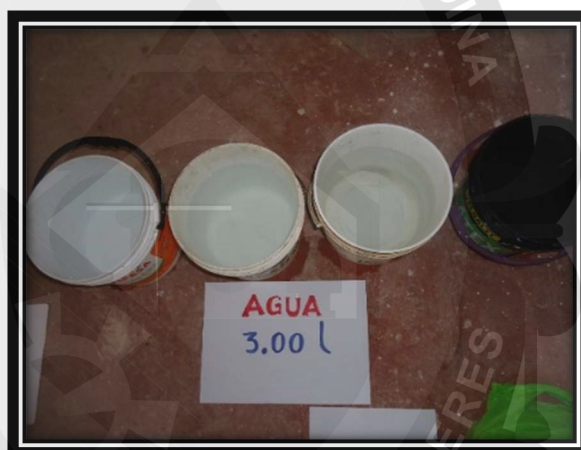


Figura 38. Proporción del agua

4. ADITIVO



Figura 39. Proporción del aditivo

5. VIDRIO



Figura 40. Proporción del vidrio

4.4.3. DOSIFICACIÓN POR MÉTODO DE AGREGADO GLOBAL

PASO N° 1: Como no existe una historia de resultados de ensayos a compresión de adoquines, es necesario empezar fijando una resistencia de diseño de mezcla f'_{cr} acorde a la Tabla 37.

Tabla 37
Selección de resistencia promedio

f'_c Especificado	f'_{cr} (Kg/cm ²)
< 210	$f'_c + 70$
210 – 350	$f'_c + 84$
> 350	$f'_c + 98$

Fuente: Comité 211 del ACI

Por lo tanto, será un diseño de mezcla $f'_c = 280$ kg/cm² para un adoquín del tipo I; siguiendo de la Tabla 37, $f'_{cr} = (280 \text{ kg/cm}^2 + 84 \text{ kg/cm}^2)$, con este criterio la resistencia a compresión promedio especificada que se utilizará para el diseño de mezcla en la investigación será: $f'_{cr} = 364$ kg/cm².

PASO N° 2: Seleccionar el tamaño máximo nominal del agregado.

El tamaño máximo del agregado que se empleará en el diseño de mezclas para la investigación es: TMN = de 9.5 mm (3/8"), ya que el tamaño máximo del agregado fino es reducido.

PASO N° 3: Seleccionar el asentamiento o slump

Tabla 38

Selección del asentamiento

TIPO DE ESTRUCTURA	SLUMP MÁXIMO	SLUMP MÍNIMO
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Comité 211 del ACI

Para el desarrollo de la investigación y para el diseño de mezcla se usará un asentamiento o Slump: 2.5 cm a 5.0 cm (1" a 2"), ya que exige la norma para adoquines.

PASO N° 4: Seleccionar el volumen unitario del agua de diseño.

Tabla 39

Volumen unitario de agua

Asentamiento	Agua en lt/m ³ , para TNM agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154	--

Fuente: Comité 211 del ACI

Para el caso de la investigación, si se cuenta con un tamaño máximo nominal del agregado de 3/8" y un asentamiento de 1" a 2" la mezcla debe ser suministrada sin aire incorporado; aproximadamente con 207 l/m³ de agua de mezclado.

PASO N° 5: Seleccionar el contenido de aire.

Tabla 40

Contenido de aire incorporado

TNM del agregado Grueso	Aire Atrapado %
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

Fuente: Comité 211 del ACI

El porcentaje de contenido de aire para la investigación será del 3.0 %, debido que se asumirá para un tamaño máximo nominal de agregado (3/8").

PASO N° 6: Seleccionar la relación agua/cemento por resistencia y durabilidad.

Tabla 41

Relación de agua cemento por resistencia

f'c Kg/cm ²	Relación a/c en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

Fuente: Comité 211 del ACI

Sin embargo, como no está registrada en la Tabla 41 la resistencia promedio requerida para el diseño de mezcla de 364 kg/cm², es necesario realizar una interpolación de los datos disponibles, para así estimar la relación (a/c) más apropiada. La relación (a/c) estimada; será: a/c= 0.45.

PASO N° 7: Determinación del factor cemento.

El factor cemento resulta: $207/0.45 = 460.00 \text{ kg/m}^3 = 10.82 \text{ bls/m}^3$

PASO N° 8: Determinar los volúmenes absolutos de cemento, agua y aire.

Cemento: $460.00 / (2.88 \times 1,000) = 0.160 \text{ m}^3$

Agua: $207.00 / (1.00 \times 1,000) = 0.207 \text{ m}^3$

Aire atrapado: $3.00 \% = 0.030 \text{ m}^3$

Total = 0.397 m^3

PASO N° 9: Determinar el volumen absoluto del agregado fino.

Volumen absoluto de agregado fino: $1.00 - 0.397 = 0.603 \text{ m}^3$

PASO N° 10: Determinar el peso seco del agregado fino.

Peso de agregado fino seco: $0.603 \times 2.36 \times 1,000 = 1,425.00 \text{ kg}$

PASO N° 11: Determinar valores de diseño del cemento, agua y agregado fino.

Cemento: 460.00 kg/m^3

Agregado fino seco: $1,425.00 \text{ kg/m}^3$

Agua de diseño: 207.00 kg/m^3

PASO N° 12: Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.

Agregado fino: $2.58 - 4.23 = -1.65 \%$

Aporte de humedad de los agregados:

Agregado fino: $1,425.00 \times (-0.0165) = -23.51 \text{ l/m}^3$

Agua efectiva: $207.00 - (-23.51) = 230.51 \text{ l/m}^3$

PASO N° 13: Determinación de la proporción en peso y de diseño.

$460.00/460.00 : 1,425.00/460.00$

$1:3.10/0.45$

PASO N° 14: Determinación de los pesos por tanda de una bolsa.

Cemento: $1.00 \times 42.5 = 42.50 \text{ kg/bolsa}$

Agregado fino húmedo: $3.10 \times 42.5 = 131.75 \text{ kg/bolsa}$

Agua de diseño: $0.45 \times 42.5 = 19.35 \text{ l/bolsa}$

PASO N° 15: Determinación de la cantidad de aditivo a emplear.

Aditivo: $460 \text{ (kg/m}^3) / (42.5 \text{ kg/bolsa}) = 10.82 \text{ bls/m}^3 \times (250\text{ml}/1,000\text{l})$

Aditivo: 2.71 l/m^3

4.4.4. ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS

La elaboración de la mezcla se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones del diseño de mezclas, pero esta se realizó manualmente debido a la falta de disponibilidad de las plantas de fabricación. Las proporciones se obtuvieron por peso, manteniendo lo más posible las proporciones recomendadas por diseño de mezclas otorgado por el Laboratorio de Mecánica de Suelos, concreto y asfalto de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez".



Figura 41. Pesaje según proporciones



Figura 42. Mezcla de los agregados



Figura 43. Preparación de la mezcla

4.5. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ADOQUINES

4.5.1. DOSIFICADO

Los adoquines se fabricaron de manera artesanal, no se pudo utilizar la maquina compactadora por las menciones ya expuestas con anterioridad. Por esto se construyó un molde metálico de dos piezas con platinas de 1 1/4" con espesor de 4mm, con capacidad de para 02 adoquines, con dimensiones de 100 mm por 200 mm para cada adoquín y una altura de 6mm, como se aprecia en la Figura 44.



Figura 44. Molde metálico

Para la producción de adoquines se debe definir la dosificación de los diferentes componentes del concreto. Las relaciones básicas para acercarse a la dosificación optima, esta se determinará según diferentes características de los materiales como son: Tipo de cemento, humedad en el ambiente, granulometría de los agregados, absorción de los agregados y consistencia deseada del concreto



Figura 45. Dosificación de materiales para el adoquín

4.5.2. MEZCLADO

PARA EL MEZCLADO DEL ADOQUÍN SIN VIDRIO

El mezclado se realizó de forma manual, se empieza colocando todos los componentes del adoquín en la cuba de cilindro, para mezclar en seco, el cemento y los agregados, hasta obtener una mezcla de color uniforme; luego se agrega agua y se prosigue con la mezcla por unos 3 ó 4 minutos. Si los agregados no son muy absorbentes, se incorpora la cantidad de aditivo necesaria para que estos alcancen la humedad deseada, esto se realiza hasta tener una mezcla homogénea; para luego continuar con la operación de la mezcla manual de 2 a 3 minutos.



Figura 46. Mezclado de los componentes para el adoquín

PARA EL MEZCLADO DEL ADOQUÍN CON VIDRIO MOLIDO

Primero, se vierte la arena; seguidamente del cemento y para luego adicionar el vidrio molido, realizando el mezclado en seco empleando una pala. Se removerá por lo menos 3 vueltas repetidas. Después del mezclado homogéneo se incorpora el agua en el centro de la mezcla, luego se tapa el agua con la mezcla seca de los lados, para tener una mezcla homogénea. Esta mezcla húmeda debe voltearse 4 vueltas. Al final, se incorpora a la mezcla, la cantidad de aditivo necesaria para que estos alcancen la humedad deseada, esto se realiza hasta obtener mezcla homogénea; se continua esta operación de forma manual durante 2 a 3 minutos.

4.5.3. MOLDEADO

El procedimiento de producción se comenzó untando el molde con petróleo que facilita el retiro del mismo, luego se rellenó en dos capas la mezcla, cada una de estas se compacta con varilla metálica, martillo de goma y así simular lo más posible el proceso de fabricación de las maquinarias a nivel comercial.



Figura 47. Proceso de compactación.

Debajo de los moldes se colocarán tableros moldes; donde se asentarán los adoquines y debe estar cubierto de diésel, el tiempo de compactación se hace por unos 12 segundos con la varilla metálica a la mezcla con una cantidad de 32 golpes en dos capas cada uno. Finalizando este proceso se retira el exceso de material sobre el molde con una plancha manual, a la vez se realiza la compactación hasta encontrar la altura deseada del adoquín. Al final se hará el desmoldé teniendo mucho cuidado de no fracturarlos.



Figura 48. Moldeado de adoquín.

4.5.4. FRAGUADO

Los adoquines se llevaron con su molde a reposo durante 8 horas, que es el tiempo mínimo recomendado para reutilizar los moldes, durante el tiempo de fraguado los adoquines se protegieron bajo techo, protegidos del viento, la lluvia y los rayos solares.



Figura 49. Proceso de fraguado.

Luego que los adoquines son desmoldados se los coloca en el área de fraguado, esta área se debe proteger del sol y del viento para evitar que el agua contenida en el adocquín se evapore y detenga el fraguado, esto provocaría una resistencia pobre del concreto, para mantener la humedad se cubre con plástico. El proceso de fraguado del concreto dura entre 4 a 8 horas, pero se debe levantar los adoquines del tablero al siguiente día de su producción.



Figura 50. Fraguado de adocquín.

4.5.5. CURADO

El curado se realizó en un lugar donde los rayos del sol no afectaran directamente a los adoquines, se humedecieron y se cubrieron en pozas para sumergirlas en agua para mantenerlas en estado húmedo, este se realizó durante 7 días, 14 días y 28 días respectivamente.



Figura 51. Proceso de curado.

El curado se debe sumergir en una poza con agua, periódicamente a los ensayos de resistencia de compresión para los adoquines; para mantener la humedad del concreto y para poder lograr continuar la reacción química del cemento con el agua y así obtener las resistencias deseadas. El clima en este proceso, es preferible mantener una temperatura de 20° centígrados, para evitar pérdidas de humedad por evaporación.



Figura 52. Curado de adoquín.

4.5.6. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

El adoquín tendrá que ser almacenado en un lugar limpio, protegido de la lluvia, viento y sol, y para que se sequen poco a poco. Si no se logran estas condiciones se los puede tapar con lonas o con plástico.

Los adoquines no pueden ser dejados directamente sobre el suelo, en lo posible se los debe acomodar encima de un tablero de madera, para evitar que adquiera humedad por capilaridad.

En el caso de movimiento y almacenamiento manual, deberán ser cargados en un máximo de cuatro adoquines con las dos manos y colocados en los lugares de almacenamiento evitando al máximo su deterioro por mala práctica de manipulación.

Después de terminar el curado de los adoquines se almacenaron en un recinto cerrado hasta que alcanzaron la resistencia especificada, para luego ser recapeados los adoquines un día antes de la rotura a la compresión.



Figura 53. Proceso de reposo.

4.5.7. PRODUCCIÓN DE ADOQUINES CON MEZCLA PATRÓN

4.5.7.1. PRODUCCIÓN DE ADOQUINES SIN ADICION DE VIDRIO

Tabla 42
Dosificación de la mezcla patrón

Materiales	0 % VIDRIO	
	Peso (Kg)	Dosificación
Cemento	460.00	1.00
Arena	1425.00	3.10
Agua	207.00	0.45

Fuente: Elaboración propia.

4.5.7.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MEZCLA CON 0% DE VIDRIO

Tabla 43
Propiedades de la mezcla patrón

Propiedad	Resultado
Asentamiento	0.0 cm
Consistencia	Seca
Trabajabilidad	Buena
Homogeneidad	Buena
Exudación	Escasa

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan las fotografías representativas del asentamiento, mezcla y elaboración de muestras sin inclusión de vidrio molido, proceso que se realizó de manera repetitiva.



Figura 54. Asentamiento o Slump.



Figura 55. Materiales para elaboración de muestras.



Figura 56. Proceso de reposo.

4.5.8. PRODUCCIÓN DE ADOQUINES DE MEZCLA CON INCLUSIÓN DEL VIDRIO**4.5.8.1. PRODUCCIÓN ADOQUINES CON VIDRIO MOLIDO AL 10%, 20% Y 30%**

Tabla 44

Dosificación de la mezcla con inclusión de vidrio al 10%, 20% y 30%

Materiales	10 % VIDRIO		20 % VIDRIO		30 % VIDRIO	
	Peso (Kg)	Dosificación	Peso (Kg)	Dosificación	Peso (Kg)	Dosificación
Cemento	460	1	460	1	460	1
Arena	1289.62	2.8	1154.25	2.51	1018.87	2.21
Vidrio	135.38	0.29	270.75	0.59	406.13	0.88
Agua	207	0.45	207	0.45	207	0.45

Fuente: Elaboración propia.

4.5.8.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE MEZCLA CON 10%, 20% Y 30% DE VIDRIO

Tabla 45

Propiedades de la mezcla con inclusión de vidrio al 10%, 20% y 30%

Propiedad	10 %	20 %	30 %
	VIDRIO	VIDRIO	VIDRIO
Asentamiento	1.2 cm	1.5 cm	2.5 cm
Consistencia	Seca	Seca	Seca
Trabajabilidad	Buena	Buena	Buena
Homogeneidad	Regular	Regular	Buena
Exudación	Escasa	Escasa	Escasa

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan las fotografías representativas del asentamiento, mezcla y elaboración de muestras con la adición de vidrio molido, proceso que se realizó de manera repetitiva.



Figura 57. Asentamiento o Slump, 10% vidrio.



Figura 58. Asentamiento o Slump, 20% vidrio.



Figura 59. Asentamiento o Slump, 30% vidrio.

4.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOQUINES

La norma NTP 399.611, establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión en adoquines. Así mismo el alcance de esta norma es aplicable a cualquier tipo o forma de adoquín utilizado para tránsito peatonal y tráfico vehicular ligero.

El procedimiento que se describe en esta norma, se basa en someter un adoquín a la aplicación de una carga creciente de compresión, hasta provocar su falla (se considerará que esta ocurre cuando la muestra no puede soportar más carga).

4.6.1. MÁQUINA DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Podrá ser de cualquier tipo confiable, con la capacidad suficiente para efectuar el ensayo, que sea también capaz de aplicar la carga de rotura.



Figura 60. Máquina para ensayo de adoquines a compresión.

Las superficies de contacto de las placas deben tener grabadas áreas rectangulares 20mm de longitud y de 10 mm de ancho, aproximadamente, para facilitar el centrado de las muestras.

4.6.2. PROCEDIMIENTO Y CALCULO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

PROCEDIMIENTO:

1. Seleccione 16 unidades de cada producción de adoquines al 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio molido, para los diferentes días a ser sometidos a compresión.
2. Marque cada espécimen de modo que pueda identificarse en cualquier momento.
3. Almacene las unidades en un lugar ventilado.
4. Escoja cuatro muestras para el ensayo de resistencia a la compresión para las diferentes proporciones de vidrio.
5. Con la regla de vernier, mida el largo del adoquín. (Ver Figura 61 a).

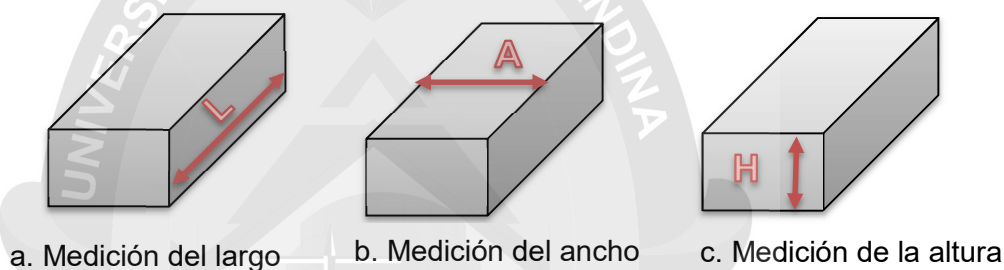


Figura 61. Medición de las dimensiones en el adoquín entero.

6. Anote el valor medido como el largo.
7. Con la regla de vernier, mida el ancho del adoquín. (Ver Figura 61 b).
8. Anote el valor medido como el ancho.
9. Con la regla de vernier, mida la altura del adoquín. (Ver Figura 61 c).
10. Anote el valor medido como la altura.
11. Ubique el centroide de la superficie de carga del espécimen.
12. Coloque el adoquín en la máquina de ensayo en la misma posición como será colocado en la obra.
13. Acomode el adoquín en el centroide de la superficie de carga alineado verticalmente con el centro de empuje del bloque de acero de la máquina de ensayo.
14. Aplique la carga restante en no menos de 3 minutos ni más de 8 minutos.
15. Registre la carga máxima de compresión en kilogramos, como $P_{m\acute{a}x}$.
16. Detenga el funcionamiento de la máquina de ensayo.
17. Retire el adoquín ensayado de la máquina de ensayo.
18. Repita el procedimiento anterior para los otros adoquines.

CÁLCULOS

1. Mediciones

Realizar las mediciones respectivas para todos los adoquines. Como son el largo, ancho y altura respectivamente para cada uno.

2. Área Neta

Calcular el área neta del adoquín como se indica en la ecuación siguiente:

Ecuación 11: Área neta

$$\text{Área neta (An)} = L \times A$$

Donde:

An= área neta del espécimen o muestra, cm².

L = longitud promedio del espécimen o muestra, cm.

A = ancho promedio del espécimen o muestra, cm.

3. Resistencia a Compresión

Calcule la resistencia a compresión del adoquín con la siguiente ecuación.

Ecuación 12: Resistencia a compresión

$$\text{Esfuerzo} = P_{\text{máx}}/A_n$$

Donde:

P_{máx} = Fuerza o carga máxima de compresión, kg.

A_n = área neta promedio de la muestra, cm².

4.6.3. PREPARACIÓN Y ROTURA A COMPRESIÓN DE LOS ADOQUINES

Las muestras deben someterse a esta prueba en condiciones secas, después de haber estado almacenadas por lo menos durante 24 horas al aire libre, a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Por otra parte, se sujeta las muestras con capping o recapeo de 3 mm de espesor como empaque (Figura 62), el cual se colocará en las caras superiores e inferiores de la muestra, entre las placas de la máquina y la muestra se colocará unas planchas de acero de aproximadamente 25 mm de espesor, que cubra toda la superficie de la muestra y sea capaz de distribuir uniformemente las cargas.



Figura 62. Realización del recapeo.

El adoquín se debe colocar en la máquina con la superficie hacia arriba, de manera que los ejes longitudinales y transversales del mismo queden alineados con los ejes de las placas de la máquina.



Figura 63. Ensayo de las muestras a compresión.

La aplicación de la carga debe ser continua y no intermitente, a una velocidad aproximada de 150 Kg/cm² por minuto, hasta que no pueda soportar una carga mayor, debiendo registrarse la carga máxima aplicada.



Figura 64. Adoquín durante el ensayo a compresión.

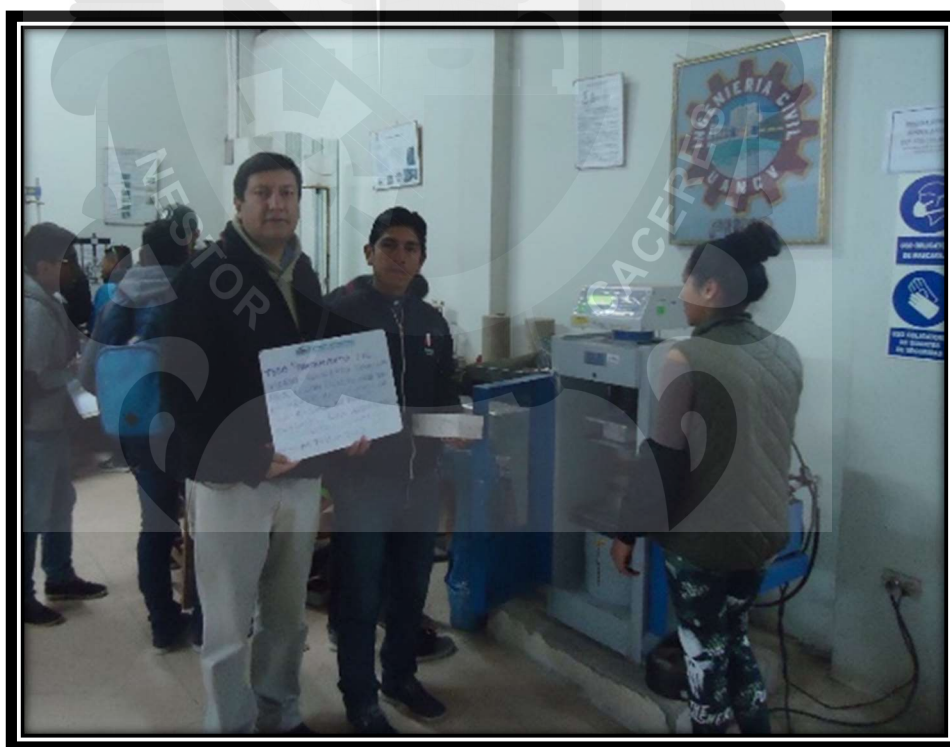


Figura 65. Adoquín después del ensayo a compresión.

4.7. COSTOS Y PRESUPUESTOS DE ADOQUINES

4.7.1. MEMORIA DE CÁLCULO DEL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Tabla 46

Proporción para un adoquín en Kg

DOSIFICACIÓN PARA 1 m ³ (en Kg)		PROPORCIÓN PARA 01 ADOQUÍN (en Kg)			
Materiales	Peso (Kg)	0% Vidrio	10% Vidrio	20% Vidrio	30% Vidrio
Cemento	460.00	0.5520	0.5520	0.5520	0.5520
Agregado fino	1,425.00	1.7100	1.5500	1.3900	1.2200
Vidrio reciclado		0.0000	0.1600	0.3200	0.4900
Agua	207.00	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
Aditivo	2.71	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032

Tabla 47

Proporción para un adoquín en m³

DOSIFICACIÓN PARA 1 m ³ (en Kg)		PROPORCIÓN PARA 01 ADOQUÍN (en m ³)			
Materiales	Densidad (kg/m ³)	0% Vidrio	10% Vidrio	20% Vidrio	30% Vidrio
Cemento	2,880.00	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Agregado fino	2,360.00	0.0007	0.0007	0.0006	0.0005
Vidrio reciclado	2,520.00	0.0000	0.0001	0.0001	0.0002
Agua	1,000.00	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Aditivo	1,200.00	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003

Se tiene un volumen para 1 adoquín: $V = 0.20 \times 0.10 \times 0.06 = 0.0012 \text{ m}^3$

Análisis de costo para dosificado del adoquín al 0% de vidrio adicionado:

- CEMENTO= $460\text{kg/m}^3 \times 0.0012\text{m}^3 = 0.552\text{kg} / 42.5\text{kg/bolsa} = 0.0129$ bolsa/adoquín.
- AGREGADO FINO = $1,425\text{kg} / 2,360\text{kg/m}^3 = 0.604\text{m}^3/\text{m}^3 \times 0.0012 \text{ m}^3 = 0.0007$ m³/adoquín.
- AGUA = $207\text{kg} / 1,000\text{kg/m}^3 = 0.207 \text{ m}^3/\text{m}^3 \times 0.0012 \text{ m}^3 = 0.0002 \text{ m}^3/\text{adoquín}.$
- ADITIVO = $0.0129 \text{ bolsa/adoquín} \times 250\text{ml} (1\text{l} / 1,000 \text{ ml}) = 0.00323 \text{ l/adoquín}.$

4.7.1.1. CANTIDAD Y PRECIO UNITARIOS DE LOS MATERIALES

Tabla 48

Cantidades de material por unidad de adoquín al 0%, 10%, 20% y 30%

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UND	PROPORCIÓN
CEMENTO	0.01290	bolsa/adoquín	0 % VIDRIO
ADITIVO	0.00323	l/adoquín	
AGREGADO FINO	0.00070	m ³ /adoquín	
AGUA	0.00020	m ³ /adoquín	
CEMENTO	0.01290	bolsa/adoquín	10 % VIDRIO
ADITIVO	0.00323	l/adoquín	
AGREGADO FINO	0.00065	m ³ /adoquín	
AGUA	0.00020	m ³ /adoquín	
VIDRIO	0.00005	m ³ /adoquín	20 % VIDRIO
CEMENTO	0.01290	bolsa/adoquín	
ADITIVO	0.00323	l/adoquín	
AGREGADO FINO	0.00060	m ³ /adoquín	
AGUA	0.00020	m ³ /adoquín	
VIDRIO	0.00010	m ³ /adoquín	30 % VIDRIO
CEMENTO	0.01290	bolsa/adoquín	
ADITIVO	0.00323	l/adoquín	
AGREGADO FINO	0.00050	m ³ /adoquín	
AGUA	0.00020	m ³ /adoquín	
VIDRIO	0.00020	m ³ /adoquín	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49

Precios unitarios de los materiales

DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	UND
CEMENTO	S/. 21.60	Bolsa
ADITIVO	S/. 7.50	l
AGREGADO FINO	S/. 30.00	m ³
AGUA	S/. 5.00	m ³
VIDRIO RECICLADO	S/. 0.00	m ³

Fuente: Elaboración propia.

4.7.1.2. COSTO DE MATERIALES PARA ADOQUINES

Tabla 50

Costo de material para 50 adoquines para 1 m² al 0%, 10%, 20% y 30%

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	PROPORCIÓN
CEMENTO	0.64500	21.60000	S/. 13.932	0 % VIDRIO
ADITIVO	0.16125	7.50000	S/. 1.209	
AGREGADO FINO	0.03500	30.00000	S/. 1.050	
AGUA	0.01000	5.00000	S/. 0.050	
CEMENTO	0.64500	21.60000	S/. 13.932	10 % VIDRIO
ADITIVO	0.16125	7.50000	S/. 1.209	
AGREGADO FINO	0.03250	30.00000	S/. 0.975	
AGUA	0.01000	5.00000	S/. 0.050	
VIDRIO	0.00250	0.00000	S/. 0.000	
CEMENTO	0.64500	21.60000	S/. 13.932	20 % VIDRIO
ADITIVO	0.16125	7.50000	S/. 1.209	
AGREGADO FINO	0.03000	30.00000	S/. 0.900	
AGUA	0.01000	5.00000	S/. 0.050	
VIDRIO	0.00500	0.00000	S/. 0.000	
CEMENTO	0.64500	21.60000	S/. 13.932	30 % VIDRIO
ADITIVO	0.16125	7.50000	S/. 1.209	
AGREGADO FINO	0.02500	30.00000	S/. 0.750	
AGUA	0.01000	5.00000	S/. 0.050	
VIDRIO	0.01000	0.00000	S/. 0.000	

Fuente: Elaboración propia.

4.7.1.3. COSTO DE MANO DE OBRA PARA ADOQUINES

Tabla 51

Cálculo de costo de hora hombre

OFICIAL	
Jornal Básico (J)	50.3
Sexta dominical(16.67%)	8.38
BUC (30%)	15.09
Bonificación por altitud (5%) *	0
Bonificación por contacto de agua (20%)	0
Movilidad (S/. 1.2) pasajes ***	3.6
Asignación Escolar (30 J/año x3)	12.58
Aguinaldo/Fiestas Patrias (40J/7)	9.58
Aguinaldo/Fiestas Navidad (40J/5)	13.41
Sub Total S/IGV(H-H)	11.96
Vacaciones (10%)	5.03
Indemnización (15%)	7.55
Total Liquidación (25%)	12.58
Seguro de vida + ESSALUD, S/.5.00/mes	0.17
Total Jornal Diario	13.56
TOTAL H - H (Costo Directo)	13.56

Fuente: *Elaboración propia.*

PEON	
Jornal Básico (J)	44.9
Sexta dominical(16.67%)	7.48
BUC (30%)	13.47
Bonificación por altitud (5%) *	0
Bonificación por contacto de agua (20%)	0
Movilidad (S/. 1.2) 0 pasajes ***	3.6
Asignación Escolar (30 J/año x3)	11.23
Aguinaldo/Fiestas Patrias (40J/7)	8.55
Aguinaldo/Fiestas Navidad(40J/5)	11.97
Sub Total S/IGV(H-H)	10.72
Vacaciones (10%)	4.49
Indemnización (15%)	6.74
Liquidación (25%)	11.23
Seguro de vida + ESSALUD, S/.5.00/mes	0.17
Total Jornal Diario	12.14
TOTAL H - H (Costo Directo)	12.14

Fuente: *Elaboración propia.*



$$\text{COSTO MANO DE OBRA} = \frac{\# \text{ PERSONAL} \times 8 \text{ horas} \times \text{PAGO H-H}}{\text{RENDIMIENTO}}$$

Datos para la producción de adoquines:

- N° de personas: 1 Oficial + 0.5 Peón
- Jornada de trabajo: 8 horas
- Rendimiento de producción diaria: 2.00 m²/día.
- Rendimiento de adoquines: 50 und/m².

$$\text{COSTO MANO DE OBRA} = \frac{1 \times 8 \text{ horas} \times 13.56}{2} = 54.24 \text{ (oficial)}$$

$$\text{COSTO MANO DE OBRA} = \frac{0.5 \times 8 \text{ horas} \times 12.14}{2} = 24.28 \text{ (peón)}$$


ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO		
SUB PARTIDA N° 1:	Tratamiento del vidrio reciclado triturado	
Especificaciones:	Se realiza la trituración del vidrio reciclado con máquina trituradora	
Cuadrilla:	1	Peón
Rendimiento:	15	m ³ /día
Unidad:	metro cúbico (m ³)	

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					
Vidrio reciclado	m ³	1.00	0.00	0.00	
COSTO DE MATERIALES (S/.)					0.00
MANO DE OBRA					
Peón	hh	0.53	12.14	6.47	
COSTO DE MANO DE OBRA (S/.)					6.47
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
Máquina Trituradora	hm	0.53	20.00	10.67	
Herramientas manuales	%	0.03	6.47	0.19	
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (S/.)					10.86
TOTAL (S/.)					17.34

4.7.2. ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES

Tabla 52

Análisis de costo unitario del adoquín convencional


ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO	
	
PARTIDA N° 1:	Producción de adoquines con 0% vidrio reciclado
Especificaciones:	Medición de materiales por volumen, mezcla manual de materiales, moldeado y desmolde de adoquines con molde metálico.
Cuadrilla:	1 Oficial 0.5 Peón
Rendimiento:	2 m ² /día
Unidad:	metro cuadrado (m ²)

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					
Cemento Portland tipo IP	Bls	0.64500	21.60	13.93	
Aditivo	l	0.16125	7.50	1.21	
Agregado fino	m ³	0.03500	30.00	1.05	
Agua	m ³	0.01000	5.00	0.05	
COSTO DE MATERIALES (S/.)					16.24
MANO DE OBRA					
Oficial	hh	4.00	13.56	54.24	
Peón	hh	2.00	12.14	24.28	
COSTO DE MANO DE OBRA (S/.)					78.52
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
Herramientas manuales	%	0.03	78.52	2.36	
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (S/.)					2.36
TOTAL (S/.)					97.12

Fuente: Elaboración propia.

Análisis: El costo de adoquín sin la inclusión de vidrio para 1 m² será de s/. 97.12 nuevos soles. Esta producción de adoquines se realizó de forma manual.

Tabla 53
Análisis de costo unitario del adoquín con 10% de vidrio reciclado

ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO	
	
PARTIDA N° 2:	Producción de adoquines con 10% vidrio reciclado
Especificaciones:	Medición de materiales por volumen, mezcla manual de materiales, moldeado y desmolde de adoquines con molde metálico.
Cuadrilla:	1 Oficial 0.5 Peón
Rendimiento:	2 m ² /día
Unidad:	metro cuadrado (m ²)

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					
Cemento Portland tipo IP	Bls	0.64500	21.60	13.93	
Aditivo	l	0.16125	7.50	1.21	
Agregado fino	m ³	0.03250	30.00	0.98	
Agua	m ³	0.01000	5.00	0.05	
Vidrio reciclado triturado	m ³	0.00250	17.34	0.04	
COSTO DE MATERIALES (S/.)					16.21
MANO DE OBRA					
Oficial	hh	4.00	13.56	54.24	
Peón	hh	2.00	12.14	24.28	
COSTO DE MANO DE OBRA (S/.)					78.52
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
Herramientas manuales	%	0.03	78.52	2.36	
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (S/.)					2.36
TOTAL (S/.)					97.09

Fuente: Elaboración propia.

Análisis: El costo de adoquín con la inclusión del 10% de vidrio reciclado triturado para 1 m² será de s/. 97.09 nuevos soles. Esta producción de adoquines se realizó de forma manual.

Tabla 54
Análisis de costo unitario del adoquín con 20% de vidrio reciclado


ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO	
PARTIDA N° 3:	Producción de adoquines con 20% vidrio reciclado
Especificaciones:	Medición de materiales por volumen, mezcla manual de materiales, moldeado y desmolde de adoquines con molde metálico.
Cuadrilla:	1 Oficial 0.5 Peón
Rendimiento:	2 m ² /día
Unidad:	metro cuadrado (m ²)

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					
Cemento Portland tipo IP	Bls	0.64500	21.60	13.93	
Aditivo	l	0.16125	7.50	1.21	
Agregado fino	m ³	0.03000	30.00	0.90	
Agua	m ³	0.01000	5.00	0.05	
Vidrio reciclado triturado	m ³	0.00500	17.34	0.09	
COSTO DE MATERIALES (S/.)					16.18
MANO DE OBRA					
Oficial	hh	4.00	13.56	54.24	
Peón	hh	2.00	12.14	24.28	
COSTO DE MANO DE OBRA (S/.)					78.52
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
Herramientas manuales	%	0.03	78.52	2.36	
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (S/.)					2.36
TOTAL (S/.)					97.06

Fuente: Elaboración propia.

Análisis: El costo de adoquín con la inclusión del 20% de vidrio reciclado triturado para 1 m² será de s/. 97.06 nuevos soles. Esta producción de adoquines se realizó de forma manual.

Tabla 55
Análisis de costo unitario del adoquín con 30% de vidrio reciclado

ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO	
	
PARTIDA N° 4:	Producción de adoquines con 30% vidrio reciclado
Especificaciones:	Medición de materiales por volumen, mezcla manual de materiales, moldeado y desmolde de adoquines con molde metálico.
Cuadrilla:	1 Oficial 0.5 Peón
Rendimiento:	2 m ² /día
Unidad:	metro cuadrado (m ²)

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Parcial	Total
MATERIALES					
Cemento Portland tipo IP	Bls	0.64500	21.60	13.93	
Aditivo	l	0.16125	7.50	1.21	
Agregado fino	m ³	0.02500	30.00	0.75	
Agua	m ³	0.01000	5.00	0.05	
Vidrio reciclado triturado	m ³	0.01000	17.34	0.17	
COSTO DE MATERIALES (S/.)					16.11
MANO DE OBRA					
Oficial	hh	4.00	13.56	54.24	
Peón	hh	2.00	12.14	24.28	
COSTO DE MANO DE OBRA (S/.)					78.52
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
Herramientas manuales	%	0.03	78.52	2.36	
COSTO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (S/.)					2.36
TOTAL (S/.)					96.99

Fuente: Elaboración propia.

Análisis: El costo de adoquín con la inclusión del 30% de vidrio reciclado triturado para 1 m² será de s/. 96.99 nuevos soles. Esta producción de adoquines se realizó de forma manual.

4.7.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES

Tras analizar los precios de cada uno de los diferentes tipos de producción de adoquines en la investigación, se puede identificar que el 30% de vidrio reciclado con mayor sustitución de agregado fino es el de menor costo, lo cual refleja un balance económico de s/. 0.13 soles por m² de producción de adoquines.

Esto significa que, al reemplazar las materias primas naturales por vidrio reciclado, se incentiva un mayor aprovechamiento del reciclaje, y una reutilización del vidrio, o que son residuos generados por las empresas de vidrierías.

De esta forma se crea una oportunidad para generar una economía social dentro de los productores artesanales que, en muchas ocasiones, no pueden adquirir las materias primas naturales por la falta de recursos económicos. Es así que los vidrios reciclados permiten aprovechar y, sobre todo, potenciar esta fuente de trabajo en la ciudad de Puno.

Tabla 56
Precio por m² de producción de adoquines

Tipo de adoquines	Costo por m ² (s/.)
Adoquines convencionales	S/. 97.12
Adoquines con 10% de vidrio reciclado	S/. 97.09
Adoquines con 20% de vidrio reciclado	S/. 97.06
Adoquines con 30% de vidrio reciclado	S/. 96.99

Fuente: Elaboración propia.

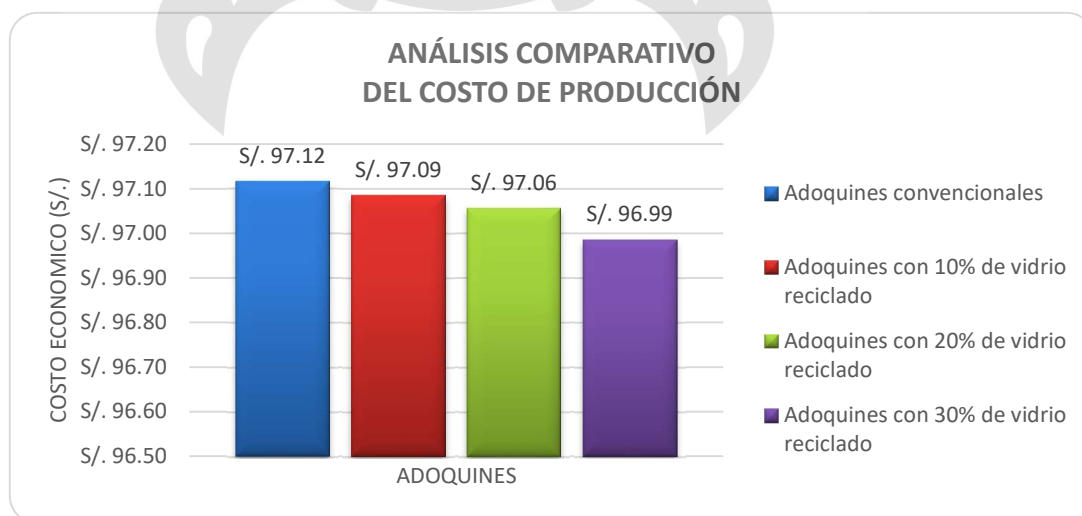


Figura 66. Análisis comparativo del costo de producción de los adoquines

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se interpreta y se discute los resultados obtenidos, producto del trabajo de investigación realizado; como se ha desarrollado en los anteriores capítulos ya que está enfocado al diseño y producción de los adoquines con adición de vidrio para ser utilizados como una alternativa en pavimentos articulados.

5.1. RESULTADO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO Y VIDRIO

Tabla 57

Resumen de resultados de las propiedades físicas del agregado fino y vidrio

Ensayos	Unidad Medida	Material			Norma
		Agregado Grueso	Agregado Fino	Vidrio Molido	
Peso específico y porcentaje de absorción	Peso específico kg/m ³		2,360.00	2,520.00	NTP 400.022, ASTM C-128
	% Absorción		4.23	0.17	
Contenido Humedad	%		2.58	0.04	NTP 339.185, ASTM C-566
Peso Unitario	Suelto kg/m ³		1,429.28	1,356.53	NTP 400.017, ASTM C-29
	Compacto kg/m ³		1,541.63	1,433.30	
Granulometría	Tamaño Máximo Nominal Plg	3/8			NTP 400.012, ASTM C-136
	Módulo Fineza		3.10	2.89, 3.03 y 2.97	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58
Resumen de resultados de las propiedades mecánicas del agregado fino y vidrio

Ensayos	Unidad Medida	Material		Norma
		Agregado Fino	Vidrio Molido	
Resistencia de las partículas	Peso específico	kg/m ³	2,360.00	2,520.00
	Resistencia	kg/m ²	200 a 750	750 a 1,200

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO

5.1.1.1. ENSAYO PESO ESPECÍFICO, ABSORCIÓN Y RESISTENCIA

El peso específico del agregado fino es de 2.36, que es aceptable al valor de 2.40 el cual es el valor mínimo aceptable que estipula la norma.

La absorción del agregado fino es aceptable con un valor de 4.23% menor al 5% especificado por la norma NTP 400.022.

El agregado fino se encuentra con un peso específico de 2.36, pertenece a agregados ligeros con peso específico entre 1.6 a 2.5, tienen resistencias en compresión del orden de 200 a 750 Kg/cm².

5.1.1.2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Presenta un contenido de humedad de 2.58% el agregado fino, valor aceptable.

5.1.1.3. ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

El peso unitario suelto del agregado fino es de 1,429.28 Kg/m³, valor aceptable que es mayor que 1,300 Kg/m³ y menor de 2,100 Kg/m³.

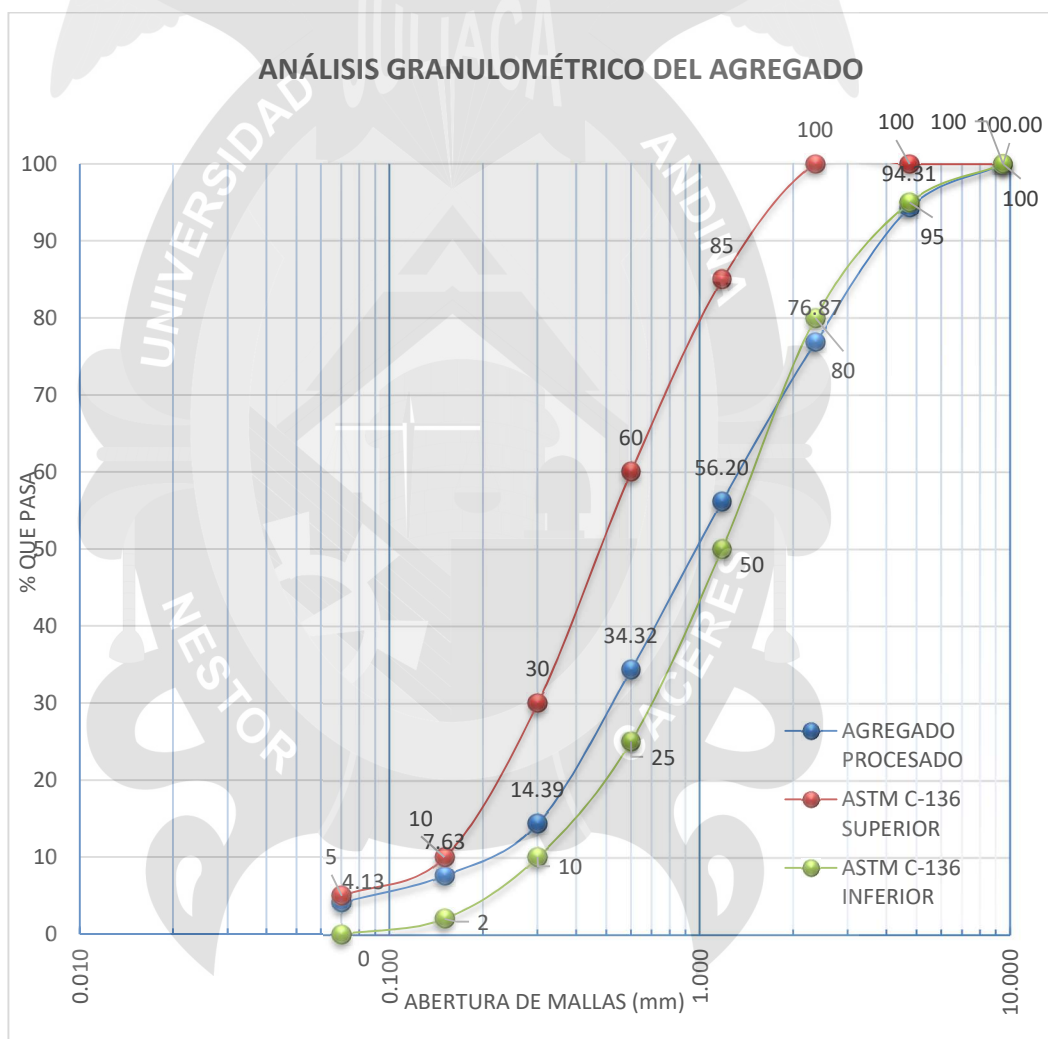
El peso unitario compacto del agregado fino es de 1,541.63 Kg/m³, valor aceptable que es mayor que 1,300 Kg/m³ y menor de 2,100 Kg/m³.

5.1.1.4. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

La clasificación del agregado fino según el módulo de fineza nos indica un agregado ligeramente grueso que presenta un aceptable módulo de fineza de 3.10 que es mayor de 2.30 valor mínimo aceptado.

$$MF = \frac{\sum (\% \text{ Ret. acum})}{100} = \frac{5.69 + 23.13 + 43.80 + 65.68 + 85.61 + 92.37}{100} = 3.10$$

Gráfico 1. Análisis granulométrico del agregado global



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Después de realizado el respectivo ensayo granulométrico se obtuvo un módulo de fineza de 3.10 el cual se encuentra dentro de los límites de 2.30 – 3.10 establecidos en nuestro medio, considerándose recomendable para la elaboración del concreto.

5.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL VIDRIO

5.1.2.1. ENSAYO PESO ESPECÍFICO, ABSORCIÓN Y RESISTENCIA

El peso específico del vidrio es de 2.52, que es aceptable y es mayor que 2.40 el cual es el valor mínimo aceptable que estipula la norma.

La absorción del agregado fino es aceptable con un valor de 0.17% menor al 5% especificado por la norma NTP 400.022.

El vidrio se encuentra con un peso específico de 2.52, pertenece a agregados normales con peso específico entre 2.5 a 2.7, tienen resistencias en compresión del orden de 750 a 1,200 Kg/cm².

5.1.2.2. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Presenta un contenido de humedad de 0.04% el vidrio, por lo que cual no existe contenido de humedad en este material.

5.1.2.3. ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

El peso unitario suelto del vidrio es de 1,356.53 Kg/m³, valor aceptable que es mayor que 1,300 Kg/m³ y menor de 2,100 Kg/m³.

El peso unitario compacto del agregado fino es de 1,433.30 Kg/m³, valor aceptable que es mayor que 1,300 Kg/m³ y menor de 2,100 Kg/m³.

5.1.2.4. ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL VIDRIO

La clasificación del agregado fino con la adición del 10% de vidrio reciclado según el módulo de fineza nos indica un agregado ligeramente fino que presenta un aceptable módulo de fineza de 2.89 que es mayor de 2.30 valor mínimo aceptado.

$$MF = \frac{\sum (\% \text{ Ret. acum } (0.00 + 17.14 + 37.28 + 59.98 + 79.61 + 94.60))}{100} = 2.89$$

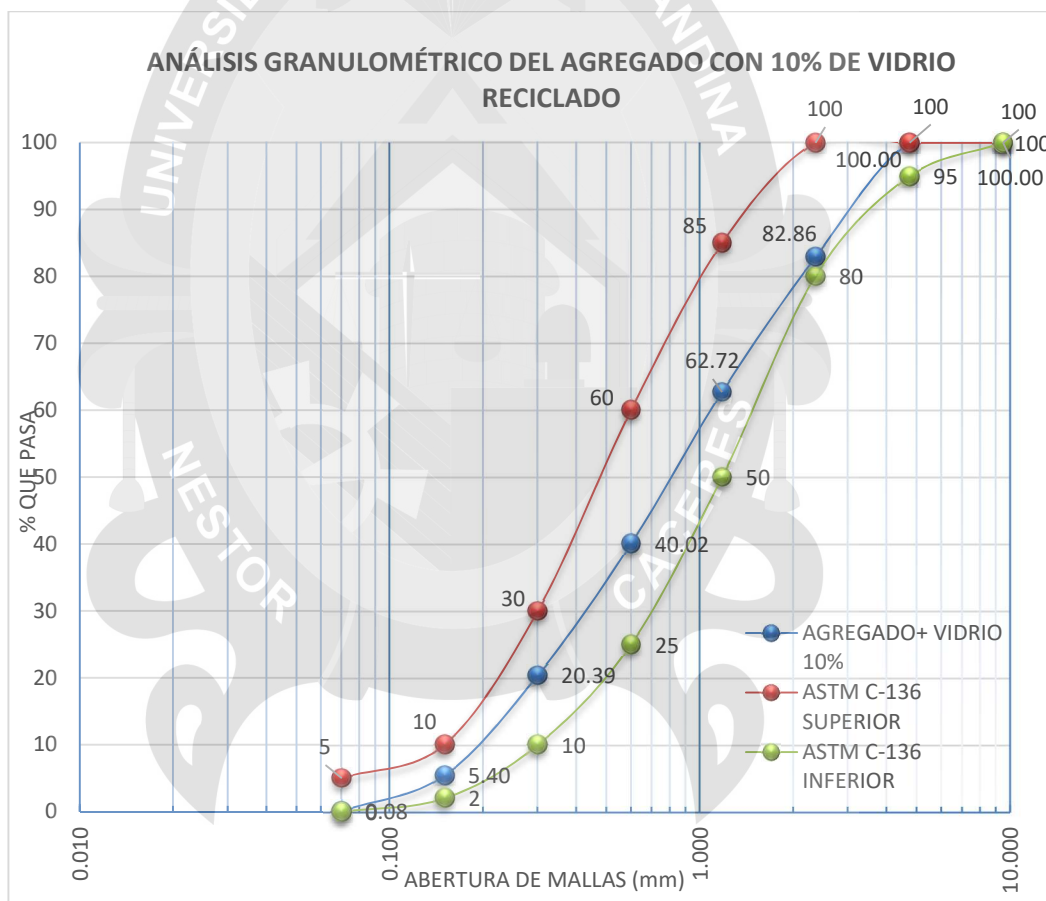
La clasificación del agregado fino con la adición del 20% de vidrio reciclado según el módulo de fineza nos indica un agregado ligeramente grueso que presenta un aceptable módulo de fineza de 3.03 que es mayor de 2.30 valor mínimo aceptado.

$$MF = \frac{\sum(\% \text{ Ret. acum (0.00+19.8+40.98+62.55+83.51+95.72)})}{100} = 3.03$$

La clasificación del agregado fino con la adición del 30% de vidrio reciclado según el módulo de fineza nos indica un agregado ligeramente grueso que presenta un aceptable módulo de fineza de 2.97 que es mayor de 2.30 valor mínimo aceptado.

$$MF = \frac{\sum(\% \text{ Ret. acum (0.00+17.26+39.37+64.36+81.67+94.09)})}{100} = 2.97$$

Gráfico 2. Análisis granulométrico del agregado con 10% de vidrio reciclado

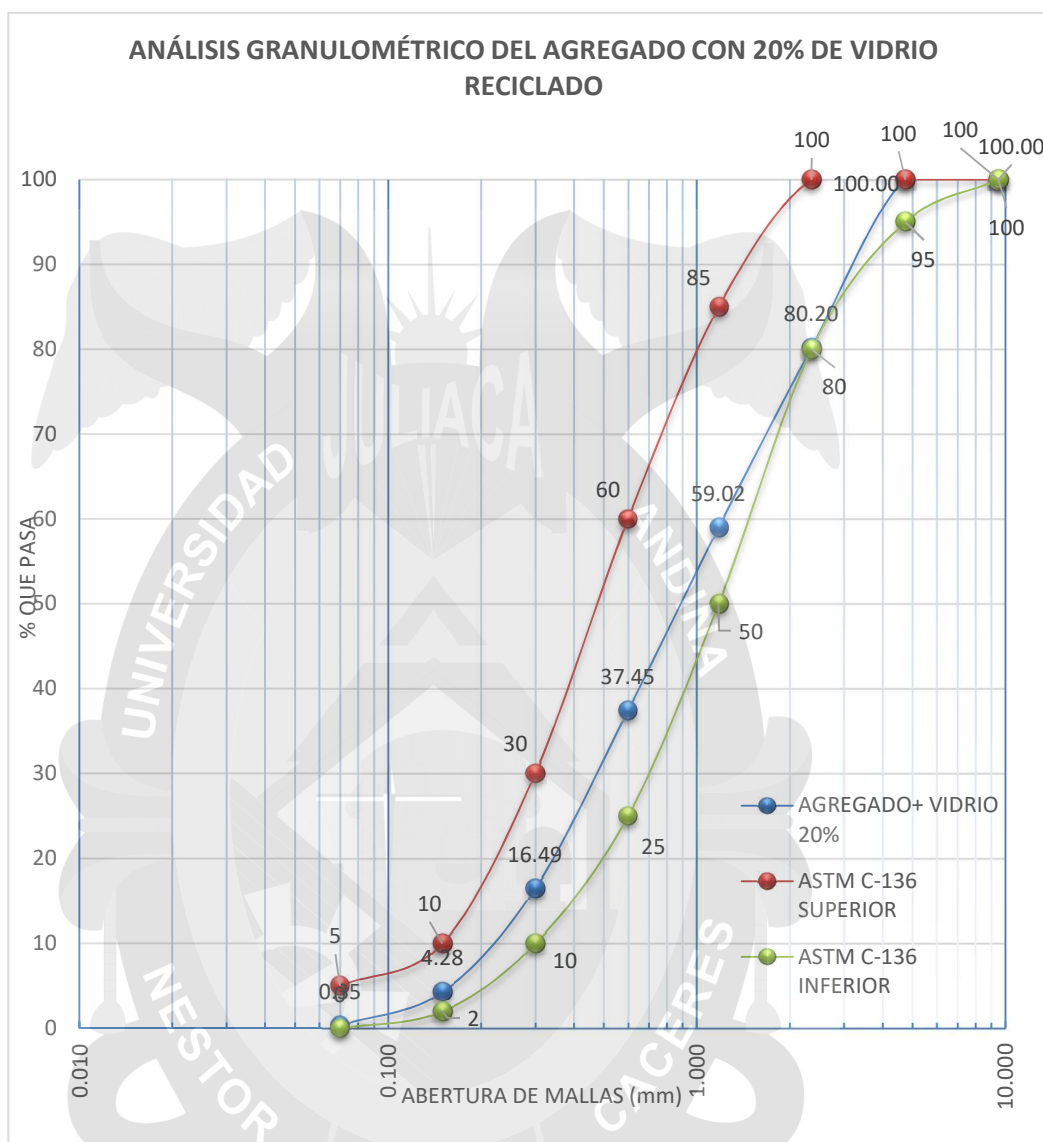


Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Después de realizado el respectivo ensayo granulométrico se obtuvo un módulo de fineza de 2.89 el cual se encuentra dentro de los límites de 2.30 - 3.10 establecidos en nuestro medio, considerándose recomendable para la producción de adoquines.

Gráfico 3. Análisis granulométrico del agregado con 20% de vidrio reciclado

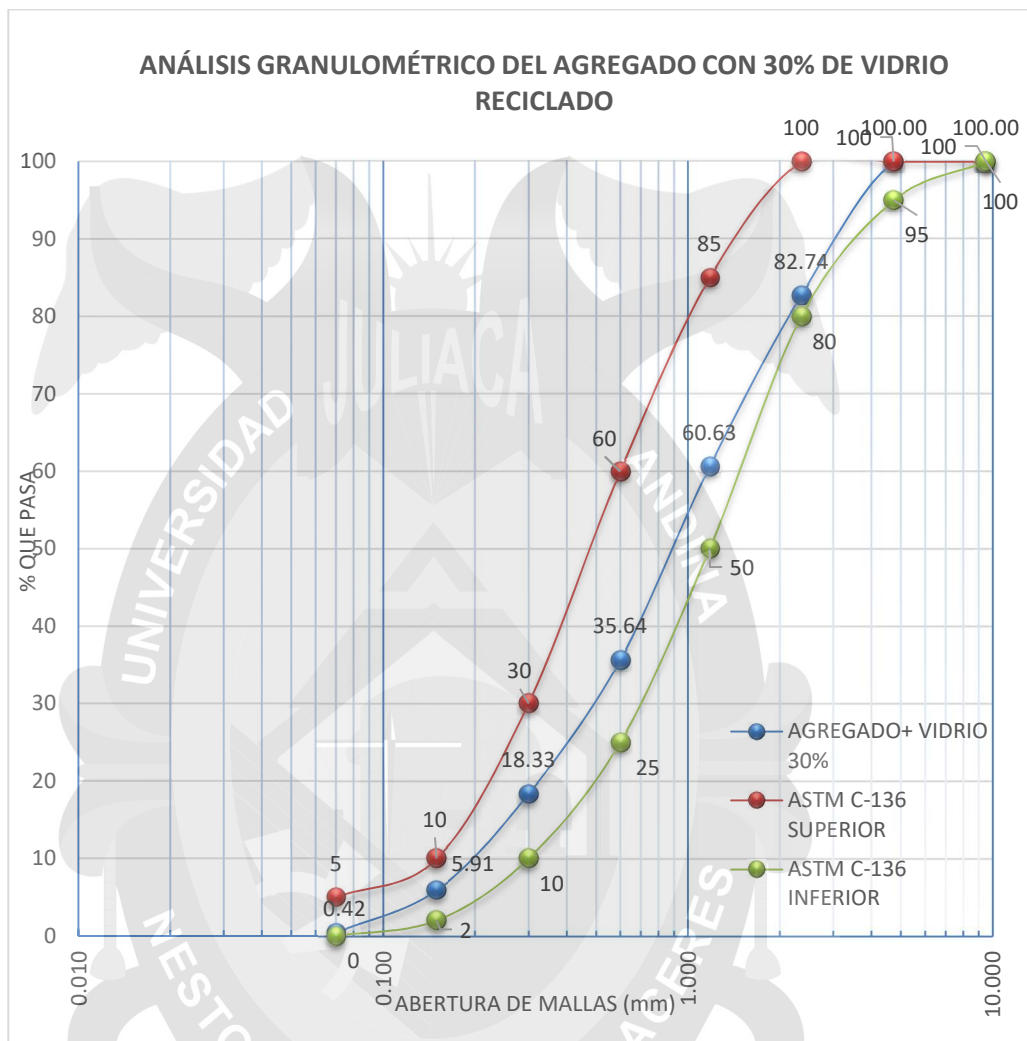


Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Después de realizado el respectivo ensayo granulométrico se obtuvo un módulo de fineza de 3.03 el cual se encuentra dentro de los límites de 2.30 - 3.10 establecidos en nuestro medio, considerándose recomendable para la producción de adoquines.

Gráfico 4. Análisis granulométrico del agregado con 30% de vidrio reciclado



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Después de realizado el respectivo ensayo granulométrico se obtuvo un módulo de fineza de 2.97 el cual se encuentra dentro de los límites de 2.30 - 3.10 establecidos en nuestro medio, considerándose recomendable para la producción de adoquines.

5.2. RESULTADOS DE LA DOSIFICACIÓN DE LOS ADOQUINES

5.2.1. RESULTADOS DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA PATRÓN

Para obtener una dosificación al peso que proporcione los factores de cada material con los que se puede obtener los pesos respectivos para cualquier volumen a dosificar se procede de la siguiente manera:

$$\text{Dosificación al peso} = \frac{\text{Cantidad de material}}{\text{Cantidad de cemento}}$$

Tabla 59
Dosificación al peso

	Cantidad para 1 m ³ (Kg)	Dosificación
Cemento	460.00	1.00
Arena	1,425.00	3.10
Agua	207.00	0.45

Fuente: Elaboración propia.

Estos valores permiten obtener rápidamente una dosificación al peso para cualquier volumen de concreto a preparar.

Tabla 60
Dosificación al peso de los materiales para mezcla seca

Materiales	Densidad	Peso	Volumen
	kg/m ³	kg	m ³
Cemento	2,880.00	460.00	6.26
Agua	1,000.00	207.00	4.83
Agregado global	2,360.00	1,425.00	1.66
Peso total =		2,092.00	

Fuente: Elaboración propia.

Se determina los pesos de los materiales por m³ de concreto, luego se procede a calcular los pesos de los materiales para la fabricación de 12 muestras, para realizar los ensayos a compresión a la edad de 7 días, 14 días y 28 días respectivamente. Para esto se realiza los siguientes cálculos:

DATOS:

1. Dimensión del adoquín: Largo = 20 cm, Ancho = 10 cm, Espesor = 6 cm
2. Peso total de concreto por $m^3 = 2,092.00 \text{ kg}$
3. Número de adoquines a realizar = 12 adoquines
4. Volumen = $20 \text{ cm} * 10 \text{ cm} * 6 \text{ cm} = 1200 \text{ cm}^3$
5. Volumen total = $1200 \text{ cm}^3 * 12 \text{ adoquines} * 0.000001 \text{ m}^3/\text{cm}^3 = 0.0144 \text{ m}^3$
6. Cantidad de concreto a fabricar = Volumen total x Pt = $0.0144 \text{ m}^3 * 2,092.00 \text{ kg/m}^3$
Cantidad de concreto a fabricar = 30.12 kg

Para tener el peso de cada material del concreto, como se indica en las ecuaciones 16, 17, y 18, y el resultado se muestra en la Tabla 62.

❖ **Peso del cemento:**

Ecuación 13: Cantidad de cemento

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Cantidad de concreto a fabricar} * \text{Peso del cemento por } m^3}{\text{Peso total del concreto por } m^3}$$

$$\text{Cemento} = \frac{30.12 \text{ kg} * 460 \text{ kg/m}^3}{2,092.00 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Cemento} = 6.60 \text{ kg}$$

❖ **Peso del agua:**

Ecuación 14: Cantidad de agua

$$\text{Agua} = \frac{\text{Cantidad de concreto a fabricar} * \text{Peso del agua por } m^3}{\text{Peso total del concreto por } m^3}$$

$$\text{Agua} = \frac{30.12 \text{ kg} * 207 \text{ l/m}^3}{2,092.00 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Agua} = 3.00 \text{ l}$$

❖ **Peso de la arena:**

Ecuación 15: Cantidad de arena

$$\text{Arena} = \frac{\text{Cantidad de concreto a fabricar} * \text{Peso de la arena por } m^3}{\text{Peso total del concreto por } m^3}$$

$$\text{Arena} = \frac{30.12 \text{ kg} \cdot 1,425 \text{ kg/m}^3}{2,092.00 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Arena} = 20.52 \text{ kg}$$

Tabla 61

Peso de los materiales para elaborar 12 adoquines

Materiales	Peso (Kg)
Cemento	6.60
Arena	20.52
Agua	3.00
Cantidad de concreto	30.12

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. RESULTADO DOSIFICACIÓN PARA MEZCLA CON INCLUSIÓN DE VIDRIO

El reemplazo del vidrio por el agregado fino, se realiza de forma volumétrica, esto se debe a la diferencia de densidades existentes entre los materiales, es necesario realizar el ensayo de peso específico suelto con el vidrio con estos resultados podemos igualar los volúmenes entre la arena con el vidrio, en la investigación se realiza el reemplazo en porcentaje de arena (10%, 20% y 30%) por agregados reciclados (material de vidrio), de esta manera se puede reemplazar el porcentaje correspondiente al volumen de la arena con los agregados reciclados para la composición del nuevo concreto.

En la Ecuación 19, se calcula la relación entre pesos específicos sueltos de los agregado fino y vidrio reciclado.

DATOS:

- ❖ Peso específico suelto de la arena = 1.43 g/cm^3
- ❖ Peso específico suelta del vidrio = 1.36 g/cm^3

Ecuación 16: Relación entre pesos específicos sueltos (vidrio/arena)

$$\frac{Y_{\text{vidrio}}}{Y_{\text{arena}}} = \frac{1.36 \text{ g/cm}^3}{1.43 \text{ g/cm}^3}$$

$$\frac{Y_{\text{vidrio}}}{Y_{\text{arena}}} = 0.95$$

Se calcula el porcentaje de arena a ser reemplazados y multiplicando por la relación de densidades obtenida en la Ecuación 19 ($\text{Vidrio/Arena} = 0.95$) se calculan los respectivos reemplazos mediante la Ecuación 20, 21 y 22.

Agregados a ser reemplazados según: 10% de vidrio reciclado

$$10 \% \text{ arena} = 0.10 * 20.52 \text{ kg} = 2.05 \text{ kg}$$

Ecuación 17: Vidrio a ser usado en un 10%

$$\text{Vidrio al } 10\% = \frac{Y_{\text{vidrio}}}{Y_{\text{arena}}} * \% \text{ de arena a reemplazar}$$

$$\text{Vidrio al } 10\% = 0.95 * 2.05 \text{ kg}$$

$$\text{Vidrio al } 10\% = 1.95 \text{ kg}$$

Agregados a ser reemplazados según: 20% de vidrio reciclado

$$20 \% \text{ arena} = 0.20 * 20.5 \text{ kg} = 4.10 \text{ kg}$$

Ecuación 18: Vidrio a ser usado en un 20%

$$\text{Vidrio al } 20\% = \frac{Y_{\text{vidrio}}}{Y_{\text{arena}}} * \% \text{ de arena a reemplazar}$$

$$\text{Vidrio al } 20\% = 0.95 * 4.10 \text{ kg}$$

$$\text{Vidrio al } 20\% = 3.90 \text{ kg}$$

Agregados a ser reemplazados según: 30% de vidrio reciclado

$$30 \% \text{ arena} = 0.30 * 20.52 \text{ kg} = 6.16 \text{ kg}$$

Ecuación 19: Vidrio a ser usado en un 30%

$$\text{Vidrio al } 30\% = \frac{Y_{\text{vidrio}}}{Y_{\text{arena}}} * \% \text{ de arena a reemplazar}$$

$$\text{Vidrio al } 30\% = 0.95 * 6.16 \text{ kg}$$

$$\text{Vidrio al } 30\% = 5.85 \text{ kg}$$

5.2.3. RESUMEN DE MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES CON VIDRIOS RECICLADOS AL 0%, 10%, 20% y 30%

Para elaborar los adoquines con mezcla patrón y con la inclusión de vidrios se usa el método del ACI - agregado global donde se fabricaron 12 adoquines para cada cantidad de muestras de adoquines al 0%, 10%, 20% y 30%.

Tabla 62

Resumen de cantidad de materiales para 12 adoquines

Cantidad para 1 m ³ (en Kg)		Proporción para 12 adoquines (en Kg)			
Materiales	Peso (Kg)	0% Vidrio	10% Vidrio	20% Vidrio	30% Vidrio
Cemento	460.00	6.60	6.60	6.60	6.60
Arena	1425.00	20.52	18.57	16.62	14.67
Arena a ser reemplazada		0.00	2.05	4.10	6.16
Vidrio a ser usado		0.00	1.95	3.90	5.85
Agua	207.00	3.00	3.00	3.00	3.00

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, para la presente investigación se elaboran un total de 48 adoquines entre mezcla patrón y adoquines con vidrio, en la Tabla 63 se muestra la cantidad total de materiales que se usa para su fabricación de los adoquines.

Tabla 63

Resumen de cantidad de materiales para el proyecto de tesis

Cantidad para 1 m ³ (en Kg)		Proporción para 48 adoquines (en Kg)			
Materiales	Peso (Kg)	0% Vidrio	10% Vidrio	20% Vidrio	30% Vidrio
Cemento	460.00	26.50	26.50	26.50	26.50
Arena	1425.00	82.08	74.28	66.48	58.69
Arena a ser reemplazada		0.00	8.21	16.42	24.62
Vidrio a ser Usado	0.950	0.00	7.80	15.60	23.39
Agua	207.00	11.90	11.90	11.90	11.90

Fuente: Elaboración propia.

5.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN

5.3.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DE LA MEZCLA PATRÓN A LOS 7, 14, y 28 DÍAS

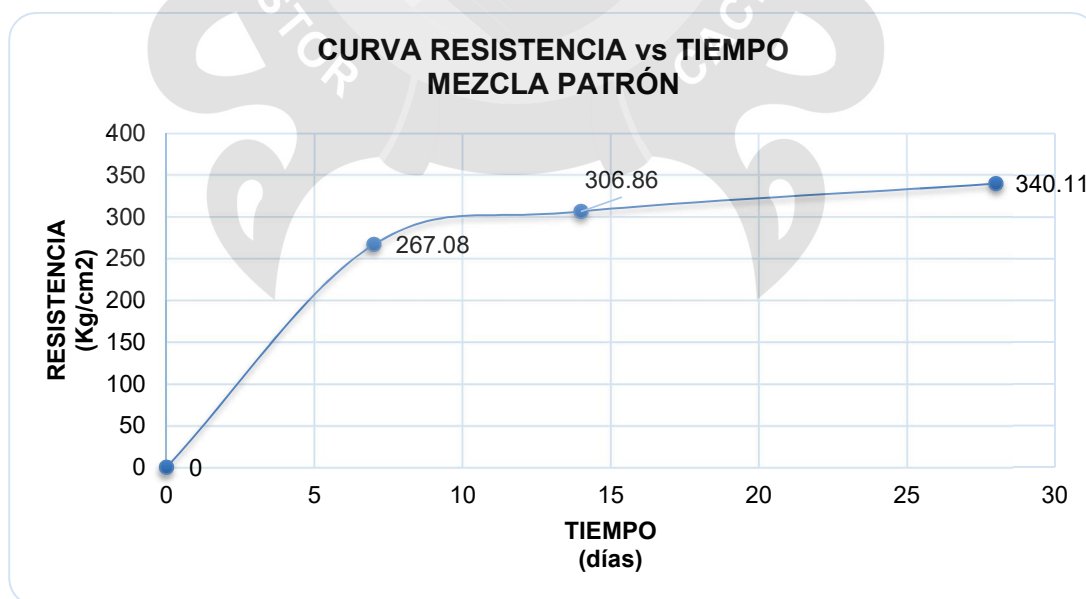
Tabla 64

Resultados de los ensayos a compresión de la mezcla patrón a los 7, 14 y 28 días

Muestra	Edad (días)	L (cm)	A (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)
M07A-001	7	20.10	10.16	204.22	53,940.00	264.13	267.08
M07A-002	7	20.00	10.00	200.00	53,870.00	269.35	
M07A-003	7	20.05	9.90	198.50	53,990.00	272.00	
M07A-004	7	20.15	10.15	204.52	53,760.00	262.86	
M14A-001	14	20.20	10.20	206.04	63,440.00	307.90	306.86
M14A-002	14	20.30	10.30	209.09	63,730.00	304.80	
M14A-003	14	20.20	10.20	206.04	63,090.00	306.20	
M14A-004	14	20.20	10.20	206.04	63,570.00	308.53	
M28A-001	28	20.10	10.10	203.01	69,710.00	343.38	340.11
M28A-002	28	20.10	10.15	204.02	67,210.00	329.44	
M28A-003	28	20.15	10.10	203.52	69,900.00	343.46	
M28A-004	28	20.10	10.10	203.01	69,870.00	344.17	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5. Curva resistencia en función del tiempo para la mezcla patrón



Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE LA MEZCLA REEMPLAZANDO EL 10% DE AGREGADO FINO POR VIDRIO A LOS 7, 14, Y 28 DÍAS

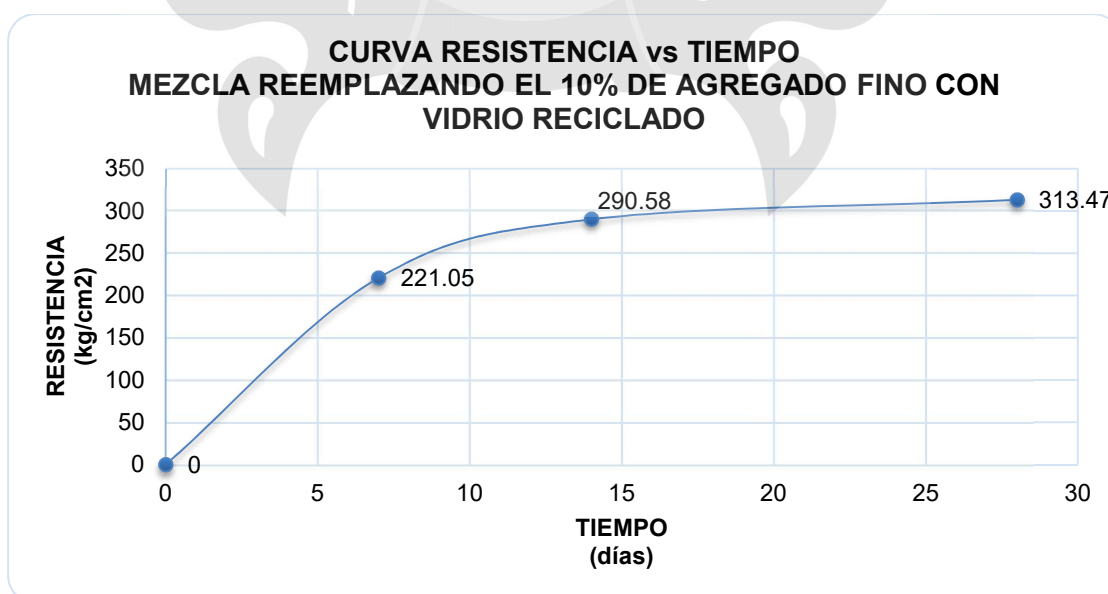
Tabla 65

Resultados de los ensayos a compresión de la mezcla reemplazando el 10% del agregado fino con vidrio a los 7, 14 y 28 días

Muestra	Edad (días)	L (cm)	A (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)
M07V-101	7	20.12	10.18	204.82	45,850.00	223.85	221.05
M07V-102	7	20.15	10.15	204.52	46,720.00	228.43	
M07V-103	7	20.15	10.10	203.52	44,670.00	219.49	
M07V-104	7	20.10	10.00	201.00	42,700.00	212.44	
M14V-101	14	20.30	10.30	209.09	59,410.00	284.14	290.58
M14V-102	14	20.30	10.30	209.09	62,760.00	300.16	
M14V-103	14	20.30	10.30	209.09	59,100.00	282.65	
M14V-104	14	20.30	10.30	209.09	61,760.00	295.38	
M28V-101	28	20.15	10.15	204.52	64,690.00	316.30	313.47
M28V-102	28	20.10	10.10	203.01	64,100.00	315.75	
M28V-103	28	20.15	10.15	204.52	62,150.00	303.88	
M28V-104	28	20.15	10.10	203.52	64,710.00	317.96	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6. Curva resistencia en función del tiempo para la mezcla en donde se ha reemplazado el 10% de agregado fino con vidrio



Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE LA MEZCLA REEMPLAZANDO EL 20% DE AGREGADO FINO POR VIDRIO A LOS 7, 14, Y 28 DÍAS

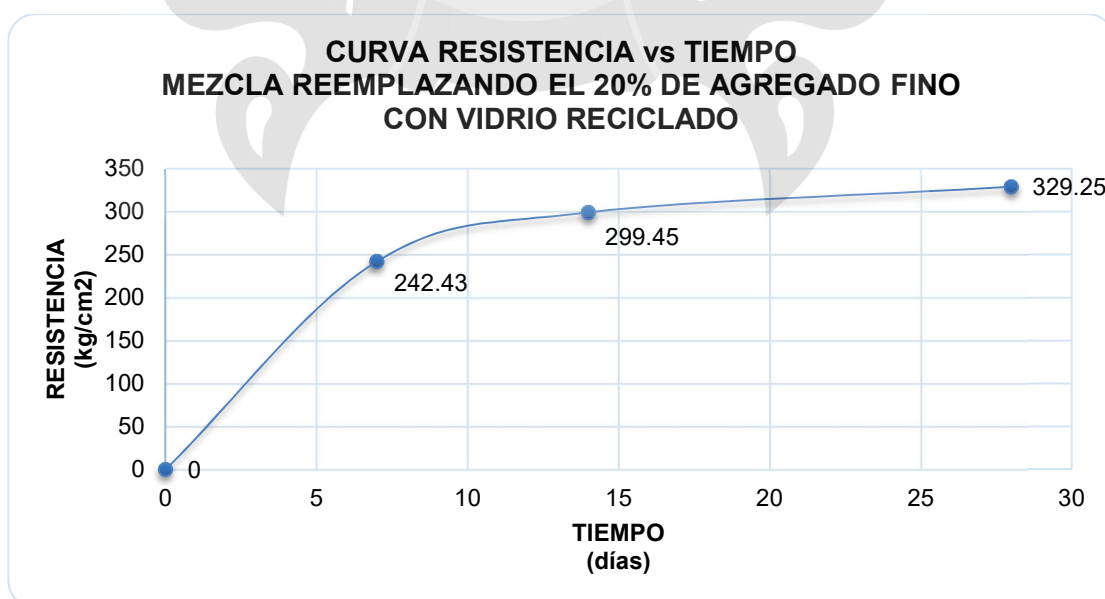
Tabla 66

Resultados de los ensayos a compresión de la mezcla reemplazando el 20% del agregado fino con vidrio a los 7, 14 y 28 días

Ensayo	Edad (días)	L (cm)	A (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)
M07V-201	7	20.12	10.18	204.82	51,550.00	251.68	242.43
M07V-202	7	20.10	10.15	204.02	50,860.00	249.30	
M07V-203	7	20.12	10.10	203.21	47,570.00	234.09	
M07V-204	7	20.00	10.10	202.00	47,400.00	234.65	
M14V-201	14	20.20	10.30	208.06	60,350.00	290.06	299.45
M14V-202	14	20.30	10.30	209.09	64,280.00	307.43	
M14V-203	14	20.30	10.30	209.09	59,720.00	285.62	
M14V-204	14	20.30	10.30	209.09	65,800.00	314.70	
M28V-201	28	20.10	10.10	203.01	67,690.00	333.43	329.25
M28V-202	28	20.15	10.10	203.52	66,690.00	327.69	
M28V-203	28	20.15	10.15	204.52	66,490.00	325.10	
M28V-204	28	20.15	10.15	204.52	67,650.00	330.77	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7. Curva resistencia en función del tiempo para la mezcla en donde se ha reemplazado el 20% de agregado fino con vidrio



Fuente: Elaboración propia.

5.3.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE LA MEZCLA REEMPLAZANDO EL 30% DE AGREGADO FINO POR VIDRIO A LOS 7, 14, Y 28 DÍAS

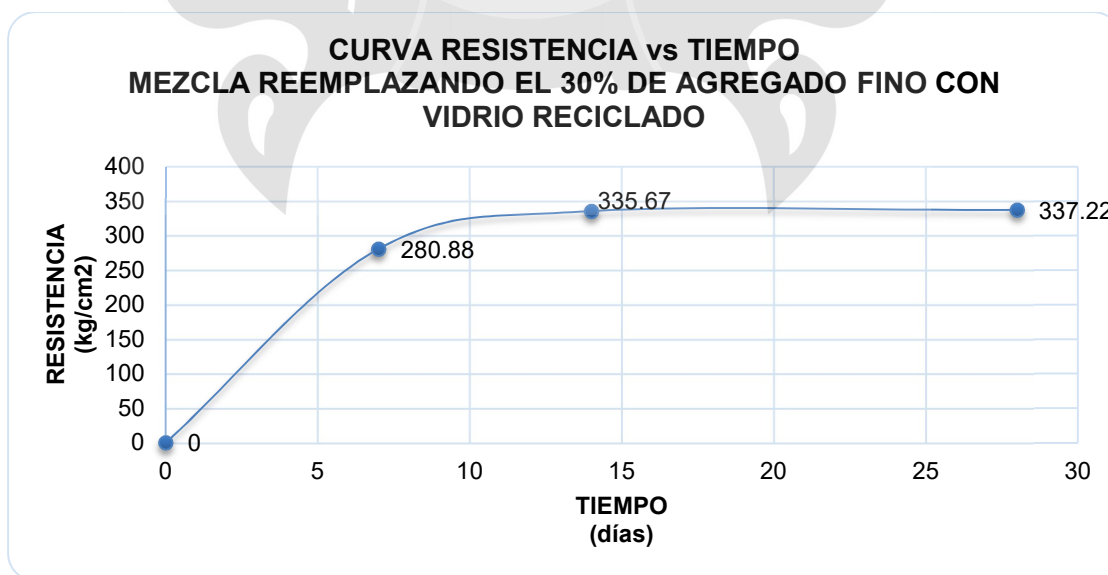
Tabla 67

Resultados de los ensayos a compresión de la mezcla reemplazando el 30% del agregado fino con vidrio a los 7, 14 y 28 días

Ensayo	Edad (días)	L (cm)	A (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)
M07V-301	7	20.00	10.00	200.00	57,600.00	288.00	280.88
M07V-302	7	20.10	10.15	204.02	57,980.00	284.19	
M07V-303	7	20.18	10.18	205.43	54,110.00	263.40	
M07V-304	7	20.00	10.10	202.00	58,160.00	287.92	
M14V-301	14	20.30	10.30	209.09	69,410.00	331.96	335.67
M14V-302	14	20.10	10.20	205.02	69,380.00	338.41	
M14V-303	14	20.20	10.20	206.04	69,340.00	336.54	
M14V-304	14	20.20	10.20	206.04	69,180.00	335.76	
M28V-301	28	20.10	10.15	204.02	70,330.00	344.73	337.22
M28V-302	28	20.20	10.20	206.04	67,610.00	328.14	
M28V-303	28	20.20	10.15	205.03	69,870.00	340.78	
M28V-304	28	20.20	10.20	206.04	69,070.00	335.23	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8. Curva resistencia en función del tiempo para la mezcla en donde se ha reemplazado el 30% de agregado fino con vidrio



Fuente: Elaboración propia.

5.3.5. RELACIÓN DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LOS ADOQUINES A LOS 7 DÍAS

Tabla 68

Comparación de resultados de la resistencia obtenida a los 7 días de todas las mezclas

ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS CON LOS DISTINTOS PORCENTAJES REEMPLAZADOS DE AGREGADO FINO CON VIDRIO

Mezcla	% de Vidrio	Slump (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Respecto a la resistencia de diseño (280 kg/cm ²)	Aceptabilidad de resistencia (%)
1	0%	0.0	267.08	95%	65% - 75%
2	10%	1.2	221.05	79%	
3	20%	1.5	242.43	87%	
4	30%	2.5	280.88	100%	

Fuente: Elaboración propia.

5.3.6. RELACIÓN DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LOS ADOQUINES A LOS 14 DÍAS

Tabla 69

Comparación de resultados de la resistencia obtenida a los 14 días de todas las mezclas

ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS CON LOS DISTINTOS PORCENTAJES REEMPLAZADOS DE AGREGADO FINO CON VIDRIO

Mezcla	% de Vidrio	Slump (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Respecto a la resistencia de diseño (280 kg/cm ²)	Aceptabilidad de resistencia (%)
1	0%	0.0	306.86	110%	75% - 85%
2	10%	1.2	290.58	104%	
3	20%	1.5	299.45	107%	
4	30%	2.5	335.67	120%	

Fuente: Elaboración propia.

5.3.7. RELACIÓN DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LOS ADOQUINES A LOS 28 DÍAS

Tabla 70

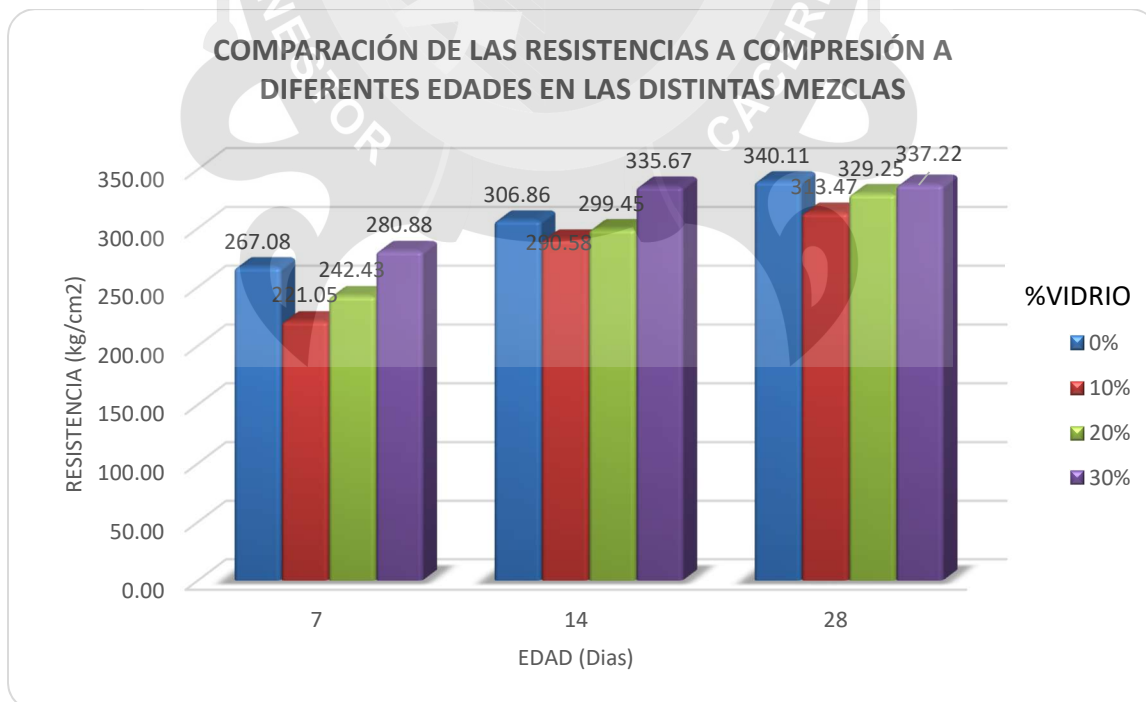
Comparación de resultados de la resistencia obtenida a los 28 días de todas las mezclas

ENSAYO A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE LAS DIFERENTES MEZCLAS CON LOS DISTINTOS PORCENTAJES REEMPLAZADOS DE AGREGADO FINO CON VIDRIO					
Mezcla	% de Vidrio	Slump (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% Respecto a la resistencia de diseño (280 kg/cm ²)	Aceptabilidad de resistencia (%)
1	0%	0.0	340.11	121%	95% - 100%
2	10%	1.2	313.47	112%	
3	20%	1.5	329.25	118%	
4	30%	2.5	337.22	120%	

Fuente: Elaboración propia.

5.3.8. COMPARACIÓN DE LAS RESISTENCIAS A COMPRESIÓN A DIFERENTES EDADES DE LOS ADOQUINES

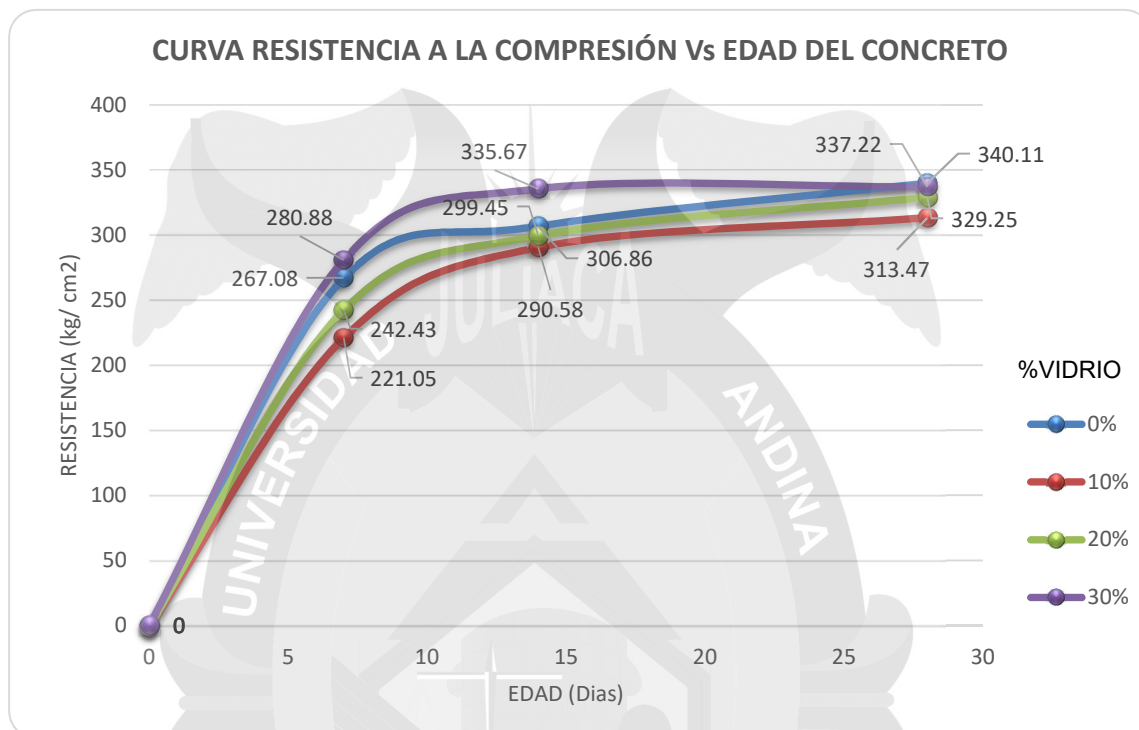
Gráfico 9. Comparación de las resistencias a compresión a 7, 14 y 28 días



Fuente: Elaboración propia.

5.3.9. COMPARACIÓN DE LAS CURVAS A LA RESISTENCIAS A COMPRESIÓN CON LAS DIFERENTES EDADES DE LOS ADOQUINES

Gráfico 10. Comparación de las curvas de resistencias a compresión a 7, 14 y 28 días



Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

El Gráfico 7. Se detalla que los adoquines con una adición del 30% de vidrio molido alcanzaron una resistencia a la compresión de 340.11 kg/cm² lo que significa un aumento de 20% de la resistencia a la compresión en comparación a los adoquines convencionales que obtuvo una resistencia de 337.22 kg/cm², a los 28 días de edad.

El mayor incremento de resistencia se obtuvo con la adición de 30% de vidrio molido, encontrándose las mejoras en las características físicas y mecánicas para la producción de adoquines y su aplicación en pavimentos articulados.

5.4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES

5.4.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE LA MEZCLA PATRÓN A LOS 28 DÍAS

Con la finalidad de obtener la absorción de los adoquines, la norma NTP 399.611 dispone una absorción de 7% para adoquines, y para adoquines con proporción de 0% de vidrio a los 28 días, estos datos se dan en la siguiente Tabla 71.

Tabla 71

Resultados de absorción de adoquines con 0% de vidrio reciclado

ADOQUINES CON MEZCLA PATRON AL 0 % VIDRIO RECICLADO			
N° Muestra	Peso Saturado (g)	Peso seco (g)	Absorción (%)
1	2,573.40	2,431.30	5.84%
2	2,577.60	2,430.90	6.03%
3	2,575.80	2,430.20	5.99%
PROMEDIO DE ABSORCIÓN			5.96%

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE LA MEZCLA REEMPLAZANDO EL 10%, 20% Y 30% DE AGREGADO FINO POR VIDRIO A LOS 28 DÍAS

Con la finalidad de obtener la absorción de los adoquines, la norma NTP 399.611 dispone una absorción de 7% para adoquines, y para adoquines con proporción de 10%, 20% y 30% de vidrio a los 28 días, estos datos se dan en las siguientes Tablas N°72, 73 y 74.

Tabla 72

Resultados de absorción de adoquines con 10% de vidrio reciclado

ADOQUINES CON MEZCLA ADICIONAL AL 10 % VIDRIO RECICLADO			
N° Muestra	Peso Saturado (g)	Peso seco (g)	Absorción (%)
1	2,564.50	2,429.20	5.57%
2	2,628.20	2,493.40	5.41%
3	2,583.40	2,460.70	4.99%
PROMEDIO DE ABSORCIÓN			5.32%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73
Resultados de absorción de adoquines con 20% de vidrio reciclado

ADOQUINES CON MEZCLA ADICIONAL AL 20 % VIDRIO RECICLADO			
N° Muestra	Peso Saturado (g)	Peso seco (g)	Absorción (%)
1	2,687.00	2,510.60	7.03%
2	2,678.00	2,555.90	4.78%
3	2,681.20	2,504.10	7.07%
PROMEDIO DE ABSORCIÓN			6.29%

Fuente: Elaboración propia.

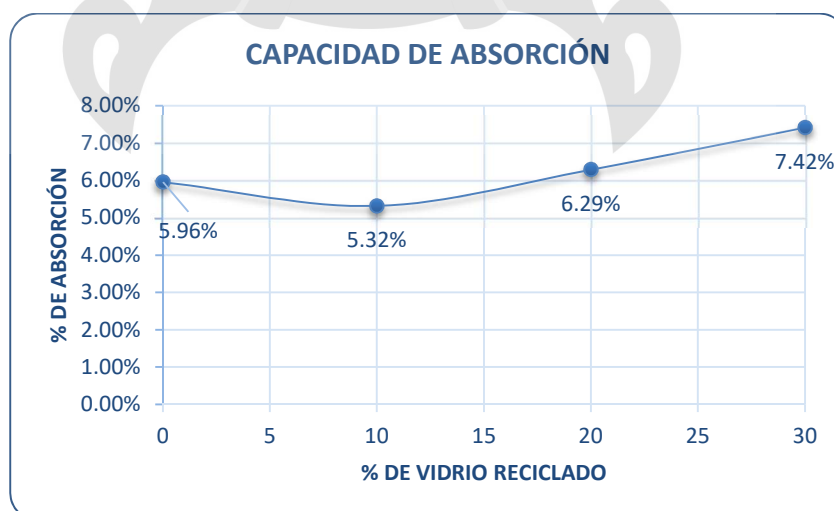
Tabla 74
Resultados de absorción de adoquines con 30% de vidrio reciclado

ADOQUINES CON MEZCLA ADICIONAL AL 30 % VIDRIO RECICLADO			
N° Muestra	Peso Saturado (g)	Peso seco (g)	Absorción (%)
1	2,758.90	2,573.50	7.20%
2	2,768.10	2,571.50	7.65%
3	2,765.10	2,574.50	7.40%
PROMEDIO DE ABSORCION			7.42%

Fuente: Elaboración propia.

5.4.3. COMPARACIÓN DE LA ABSORCIÓN A DIFERENTES PROPORCIONES DE VIDRIO

Gráfico 11. Curva % de absorción en función de la inclusión del vidrio



Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

El Gráfico 11: Se detalla que los adoquines con una adición del 30% de vidrio molido alcanzaron un aumento de 7.42 % de absorción y los adoquines convencionales de 5.96 % de absorción, a los 28 días de edad. El mayor incremento de a la capacidad de absorción, se obtuvo con la adición de 30% de vidrio molido.

5.5. RESULTADOS DEL ENSAYO A TOLERANCIA DIMENSIONAL DE ADOQUINES

Una condición imprescindible que deben satisfacer las unidades es su uniformidad; no sólo en lo relativo a la constancia de sus dimensiones, especialmente su altura, sino también en cuanto a su resistencia, calidad, textura superficial y acabado. Los adoquines fueron fabricados en conformidad con las Normas Peruanas NTP 399.604, NTP 399.611.

DIMENSIONAMIENTO:

Según la norma NTP 399.611. La forma y espesores de los adoquines de concreto, tienen relación directa con la resistencia de los adoquines.

INSTRUMENTOS:

Una regla de vernier de acero inoxidable de 30 cm de longitud graduada en mm. o un calibrador de 30 cm, de mordagas paralelas, provisto de una escala graduada.

EXPRESIÓN DE RESULTADOS:

Se calcula la variación en porcentaje de cada dimensión. Se especifica la dimensión nominal y se descuenta las dimensiones reales de todas las muestras, dividiendo este valor por la dimensión nominal especificada y multiplicado por cien.

Ecuación 20: Ecuación del valor dimensional

$$V = \frac{DN - DR}{DN}$$

En donde:

DR: Dimensión real de cada cara del adoquín (cm).

DN: Dimensión nominal (cm).

V: Variación de dimensión, en porcentaje.

Tabla 75
Resultados de dimensionamiento y variación longitudinal al 0% y 10%

RESULTADOS DE DIMENSIONAMIENTO Y VARIACIÓN LONGITUDINAL																	
MUESTRA	% DE VIDRIO	DIAS A ENSAYO	LONGITUD					ANCHO					ALTURA				
			DIM. NOMINAL	DIM. REAL	VARIACION (mm)	PROM. VARIACION	% EN VARIACION	DIM. NOMINAL	DIM. REAL	VARIACION (mm)	PROM. VARIACION	% EN VARIACION	DIM. NOMINAL	DIM. REAL	VARIACION (mm)	PROM. VARIACION	% EN VARIACION
M07A-001	0%	7	20.00	20.10	1.00	0.75	-0.50%	10.00	10.16	1.60	0.53	-1.60%	6.00	5.98	0.20	0.07	0.33%
M07A-002	0%	7	20.00	20.00	0.00		0.00%	10.00	10.00	0.00		0.00%	6.00	6.00	0.00		0.00%
M07A-003	0%	7	20.00	20.05	0.50		-0.25%	10.00	9.90	1.00		1.00%	6.00	5.99	0.10		0.17%
M07A-004	0%	7	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	6.00	0.00		0.00%
M14A-001	0%	14	20.00	20.20	2.00	2.25	-1.00%	10.00	10.20	2.00	2.25	-2.00%	6.00	6.00	0.00	0.07	0.00%
M14A-002	0%	14	20.00	20.30	3.00		-1.50%	10.00	10.30	3.00		-3.00%	6.00	5.98	0.20		0.33%
M14A-003	0%	14	20.00	20.20	2.00		-1.00%	10.00	10.20	2.00		-2.00%	6.00	6.00	0.00		0.00%
M14A-004	0%	14	20.00	20.20	2.00		-1.00%	10.00	10.20	2.00		-2.00%	6.00	5.99	0.10		0.17%
M28A-001	0%	28	20.00	20.10	1.00	1.13	-0.50%	10.00	10.10	1.00	1.13	-1.00%	6.00	5.98	0.20	0.07	0.33%
M28A-002	0%	28	20.00	20.10	1.00		-0.50%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	6.00	0.00		0.00%
M28A-003	0%	28	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	6.00	0.00		0.00%
M28A-004	0%	28	20.00	20.10	1.00		-0.50%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	5.99	0.10		0.17%
M07V-101	10%	7	20.00	20.12	1.20	1.30	-0.60%	10.00	10.18	1.80	1.08	-1.80%	6.00	6.01	0.10	0.00	-0.17%
M07V-102	10%	7	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	6.00	0.00		0.00%
M07V-103	10%	7	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	5.99	0.10		0.17%
M07V-104	10%	7	20.00	20.10	1.00		-0.50%	10.00	10.00	0.00		0.00%	6.00	6.00	0.00		0.00%
M14V-101	10%	14	20.00	20.30	3.00	3.00	-1.50%	10.00	10.30	3.00	3.00	-3.00%	6.00	6.10	1.00	0.55	-1.67%
M14V-102	10%	14	20.00	20.30	3.00		-1.50%	10.00	10.30	3.00		-3.00%	6.00	6.15	1.50		-2.50%
M14V-103	10%	14	20.00	20.30	3.00		-1.50%	10.00	10.30	3.00		-3.00%	6.00	5.98	0.20		0.33%
M14V-104	10%	14	20.00	20.30	3.00		-1.50%	10.00	10.30	3.00		-3.00%	6.00	5.99	0.10		0.17%
M28V-101	10%	28	20.00	20.15	1.50	1.37	-0.75%	10.00	10.15	1.50	1.25	-1.50%	6.00	6.02	0.20	0.12	-0.33%
M28V-102	10%	28	20.00	20.10	1.00		-0.50%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	6.02	0.20		-0.33%
M28V-103	10%	28	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	6.00	0.00		0.00%
M28V-104	10%	28	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	6.01	0.10		-0.17%

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

Los resultados están dentro del rango exigidos por la norma NTP 399.611, por lo cual se tiene unos óptimos adoquines para el tema de investigación.

Tabla 76
Resultados de dimensionamiento y variación longitudinal al 20% y 30%

RESULTADOS DE DIMENSIONAMIENTO Y VARIACIÓN LONGITUDINAL																	
MUESTRA	% DE VIDRIO	DÍAS A ENSAYO	LONGITUD					ANCHO					ALTURA				
			DIM. NOMINAL	DIM. REAL	VARIACION (mm)	PROM. VARIACION	% EN VARIACION	DIM. NOMINAL	DIM. REAL	VARIACION (mm)	PROM. VARIACION	% EN VARIACION	DIM. NOMINAL	DIM. REAL	VARIACION (mm)	PROM. VARIACION	% EN VARIACION
M07V-201	20%	7	20.00	20.12	1.20	0.85	-0.60%	10.00	10.18	1.80	1.33	-1.80%	6.00	5.98	0.20	0.02	0.33%
M07V-202	20%	7	20.00	20.10	1.00		-0.50%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	6.02	0.20		-0.33%
M07V-203	20%	7	20.00	20.12	1.20		-0.60%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	6.01	0.10		-0.17%
M07V-204	20%	7	20.00	20.00	0.00		0.00%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	6.00	0.00		0.00%
M14V-201	20%	14	20.00	20.10	1.00	1.13	-0.50%	10.00	10.10	1.00	1.13	-1.00%	6.00	5.98	0.20	0.15	0.33%
M14V-202	20%	14	20.00	20.10	1.00		-0.50%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	5.99	0.10		0.17%
M14V-203	20%	14	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	5.98	0.20		0.33%
M14V-204	20%	14	20.00	20.10	1.00		-0.50%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	5.99	0.10		0.17%
M28V-201	20%	28	20.00	20.10	1.00	1.37	-0.50%	10.00	10.10	1.00	1.25	-1.00%	6.00	6.00	0.00	0.02	0.00%
M28V-202	20%	28	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	6.01	0.10		-0.17%
M28V-203	20%	28	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	5.98	0.20		0.33%
M28V-204	20%	28	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	6.02	0.20		-0.33%
M07V-301	30%	7	20.00	20.00	0.00	0.70	0.00%	10.00	10.00	0.00	1.08	0.00%	6.00	6.00	0.00	0.25	0.00%
M07V-302	30%	7	20.00	20.10	1.00		-0.50%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	6.01	0.10		-0.17%
M07V-303	30%	7	20.00	20.18	1.80		-0.90%	10.00	10.18	1.80		-1.80%	6.00	5.99	0.10		0.17%
M07V-304	30%	7	20.00	20.00	0.00		0.00%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	6.10	1.00		-1.67%
M14V-301	30%	14	20.00	20.10	1.00	1.13	-0.50%	10.00	10.10	1.00	1.25	-1.00%	6.00	6.02	0.20	0.10	-0.33%
M14V-302	30%	14	20.00	20.10	1.00		-0.50%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	5.99	0.10		0.17%
M14V-303	30%	14	20.00	20.15	1.50		-0.75%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	6.02	0.20		-0.33%
M14V-304	30%	14	20.00	20.10	1.00		-0.50%	10.00	10.10	1.00		-1.00%	6.00	6.01	0.10		-0.17%
M28V-301	30%	28	20.00	20.10	1.00	1.75	-0.50%	10.00	10.15	1.50	1.75	-1.50%	6.00	5.98	0.20	0.00	0.33%
M28V-302	30%	28	20.00	20.20	2.00		-1.00%	10.00	10.20	2.00		-2.00%	6.00	6.02	0.20		-0.33%
M28V-303	30%	28	20.00	20.20	2.00		-1.00%	10.00	10.15	1.50		-1.50%	6.00	5.99	0.10		0.17%
M28V-304	30%	28	20.00	20.20	2.00		-1.00%	10.00	10.20	2.00		-2.00%	6.00	6.01	0.10		-0.17%

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

Los resultados están dentro del rango exigidos por la norma NTP 399.611, por lo cual se tiene unos óptimos adoquines para el tema de investigación.

5.6. RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DE LOS ADOQUINES

Para realizar el cálculo de la resistencia característica, se ensayaron las muestras a la resistencia a compresión con edad de 7, 14 y 28 días, con los resultados experimentales se aplicó el concepto del siguiente autor, el cual se considera la dispersión en sus teorías. (Montoya, 2000).

Se define como resistencia característica, f_{ck} , del concreto aquel valor que presenta un grado de confianza del 95 por 100, es decir que existe una probabilidad de 0.95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que f_{ck} . De acuerdo con esta definición y admitiendo la hipótesis de distribución estadística normal, la resistencia característica viene definida por la expresión: (Montoya, 2000).

Ecuación 21: Desviación estándar de la resistencia característica

$$S = \sqrt{\frac{\sum (f_i - f_m)^2}{n-1}}$$

Ecuación 22: Ecuación de la resistencia característica

$$f_{ck} = f_m - 1.64 \cdot s$$

Donde:

f_i = resistencia de diseño.

f_m = resistencia promedio.

s = desviación estándar.

n = número de dato.

Tabla 77

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 0% de vidrio molido a los 7 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M07A-001	204.22	264.13	-2.95	8.71	20.10	10.16
M07A-002	200.00	269.35	2.27	5.14	20.00	10.00
M07A-003	198.50	272.00	4.91	24.14	20.05	9.90
M07A-004	204.52	262.86	-4.23	17.87	20.15	10.15
		1,068.34		55.86		
Resistencia Promedio		fm =	267.08	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	4.32	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	260.01	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 0% de vidrio molido a los 14 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M14A-001	206.04	307.90	1.04	1.09	20.20	10.20
M14A-002	209.09	304.80	-2.06	4.25	20.30	10.30
M14A-003	206.04	306.20	-0.66	0.43	20.20	10.20
M14A-004	206.04	308.53	1.67	2.80	20.20	10.20
		1,227.43		8.57		
Resistencia Promedio		fm =	306.86	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	1.69	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	304.09	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 0% de vidrio molido a los 28 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M28A-001	203.01	343.38	3.27	10.69	20.10	10.10
M28A-002	204.02	329.44	-10.68	113.99	20.10	10.15
M28A-003	203.52	343.46	3.35	11.23	20.15	10.10
M28A-004	203.01	344.17	4.06	16.46	20.10	10.10
		1,360.45		152.36		
Resistencia Promedio		fm =	340.11	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	7.13	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	328.43	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 10% de vidrio molido a los 7 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M07V-101	204.82	223.85	2.80	7.83	20.12	10.18
M07V-102	204.52	228.43	7.38	54.46	20.15	10.15
M07V-103	203.52	219.49	-1.56	2.44	20.15	10.10
M07V-104	201.00	212.44	-8.62	74.25	20.10	10.00
		884.22		138.99		
Resistencia Promedio		fm =	221.05	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	6.81	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	209.89	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 10% de vidrio molido a los 14 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M14V-101	209.09	284.14	-6.44	41.53	20.30	10.30
M14V-102	209.09	300.16	9.58	91.72	20.30	10.30
M14V-103	209.09	282.65	-7.93	62.84	20.30	10.30
M14V-104	209.09	295.38	4.79	22.99	20.30	10.30
		1,162.32		219.08		
Resistencia Promedio		fm =	290.58	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	8.55	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	276.57	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 10% de vidrio molido a los 28 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M28V-101	204.52	316.30	2.83	7.99	20.15	10.15
M28V-102	203.01	315.75	2.28	5.18	20.10	10.10
M28V-103	204.52	303.88	-9.59	92.03	20.15	10.15
M28V-104	203.52	317.96	4.49	20.16	20.15	10.10
		1,253.89		125.36		
Resistencia Promedio		fm =	313.47	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	6.46	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	302.87	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 20% de vidrio molido a los 7 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M07V-201	204.82	251.68	9.25	85.60	20.12	10.18
M07V-202	204.02	249.30	6.86	47.13	20.10	10.15
M07V-203	203.21	234.09	-8.34	69.55	20.12	10.10
M07V-204	202.00	234.65	-7.78	60.48	20.00	10.10
		969.72		262.76		
Resistencia Promedio		fm =	242.43	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	9.36	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	227.08	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 20% de vidrio molido a los 14 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M14V-201	208.06	290.06	-9.39	88.18	20.20	10.30
M14V-202	209.09	307.43	7.98	63.62	20.30	10.30
M14V-203	209.09	285.62	-13.83	191.33	20.30	10.30
M14V-204	209.09	314.70	15.25	232.44	20.30	10.30
		1,197.80		575.58		
Resistencia Promedio		fm =	299.45	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	13.85	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	276.73	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 20% de vidrio molido a los 28 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M28V-201	203.01	333.43	4.18	17.50	20.10	10.10
M28V-202	203.52	327.69	-1.56	2.42	20.15	10.10
M28V-203	204.52	325.10	-4.15	17.22	20.15	10.15
M28V-204	204.52	330.77	1.52	2.32	20.15	10.15
		1,316.99		39.46		
Resistencia Promedio		fm =	329.25	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	3.63	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	323.30	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 86

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 30% de vidrio molido a los 7 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M07V-301	200.00	288.00	7.12	50.73	20.00	10.00
M07V-302	204.02	284.19	3.32	11.00	20.10	10.15
M07V-303	205.43	263.40	-17.48	305.63	20.18	10.18
M07V-304	202.00	287.92	7.04	49.60	20.00	10.10
		1,123.51		416.96		
Resistencia Promedio		fm =	280.88	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	11.79	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	261.54	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 30% de vidrio molido a los 14 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M14V-301	209.09	331.96	-3.70	13.72	20.30	10.30
M14V-302	205.02	338.41	2.74	7.51	20.10	10.20
M14V-303	206.04	336.54	0.87	0.76	20.20	10.20
M14V-304	206.04	335.76	0.09	0.01	20.20	10.20
		1,342.66		21.99		
Resistencia Promedio		fm =	335.67	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	2.71	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	331.23	Kg/cm ²		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88

Resultados de resistencia característica de adoquines de concreto con 30% de vidrio molido a los 28 días

Muestra	Sección (cm ²)	Resistencia Unitaria (kg/cm ²)	fi-fm	(fi-fm) ²	Dimensiones (cm)	
					Largo	Ancho
M28V-301	204.02	344.73	7.51	56.41	20.10	10.15
M28V-302	206.04	328.14	-9.08	82.42	20.20	10.20
M28V-303	205.03	340.78	3.56	12.68	20.20	10.15
M28V-304	206.04	335.23	-1.99	3.97	20.20	10.20
		1,348.88		155.48		
Resistencia Promedio		fm =	337.22	Kg/cm ²		
Desviación Estándar		s =	7.20	Kg/cm ²		
Resistencia Característica		fck =	325.41	Kg/cm ²		

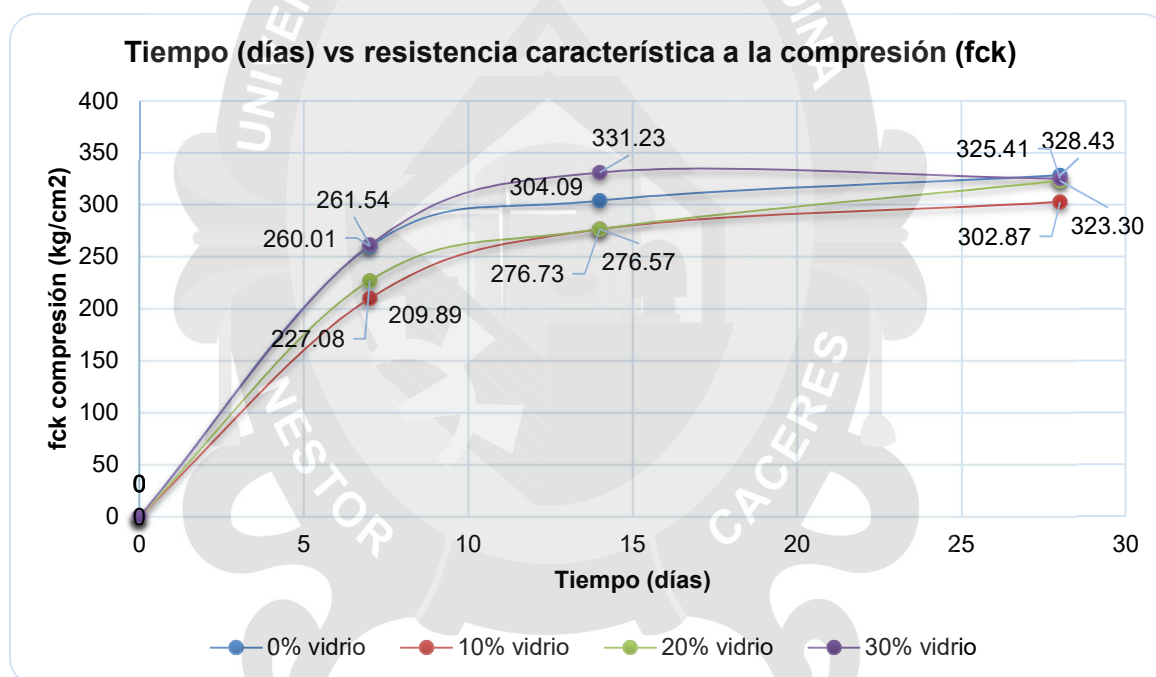
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 89
Resumen de resultados de resistencia característica

0% vidrio		10% vidrio		20% vidrio		30% vidrio	
Edad (días)	fck (kg/cm ²)	Edad (días)	fck (kg/cm ²)	Edad (días)	fck (kg/cm ²)	Edad (días)	fck (kg/cm ²)
7	260.01	7	209.89	7	227.08	7	261.54
14	304.09	14	276.57	14	276.73	14	331.23
28	328.43	28	302.87	28	323.30	28	325.41

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12. Curva resistencia característica en función del tiempo



Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN:

En el Gráfico 12. Se detalla que los adoquines con una adición del 30% de vidrio molido alcanzó 325.41 kg/cm² de la resistencia a la compresión; en comparación a los adoquines convencionales de 328.43 kg/cm², a los 28 días de edad.

Se puede interpretar que los valores tienen una relativa similitud entre estos dos tipos de adoquines. Por lo que garantiza la resistencia característica que debe tener la producción de adoquines.

5.7. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El tratamiento del vidrio reciclado en la producción de adoquines, se realizará la adición del 30% de vidrio en reemplazo del agregado fino, porque mejora las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines, el cual se podrá usar en pavimentos articulados, con su aplicación en tránsito ligero o peatonal.

Interpretando los resultados, se determinó que los ensayos realizados al adoquín con adición del 30% vidrio; este adoquín cumple con las expectativas, como también con el mejoramiento a las propiedades físicas y mecánicas.

Tabla 90

Resumen de resistencia a compresión obtenida a los 28 días

N°	0% vidrio		10% vidrio		20% vidrio		30% vidrio	
	Edad (días)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Edad (días)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Edad (días)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Edad (días)	Esfuerzo (kg/cm ²)
1	28	343.38	28	316.30	28	333.43	28	344.73
2	28	329.44	28	315.75	28	327.69	28	328.14
3	28	343.46	28	303.88	28	325.10	28	340.78
4	28	344.17	28	317.96	28	330.77	28	335.23
	\bar{X}_1	340.11	\bar{X}_2	313.47	\bar{X}_3	329.25	\bar{X}_4	337.22

Fuente: Elaboración propia.

PRUEBA DE HIPÓTESIS: PARA 10% DE VIDRIO RECICLADO

1. Identificar el parámetro de interés y describirlo en el contexto de la situación.

¿Existe diferencia en las resistencias de compresión del adoquín convencional en cuanto al adoquín con la inclusión del 10% de vidrio reciclado?

2. Determinar el valor nulo y establecer la hipótesis nula.

H₀: No, existe diferencia estadísticamente significativa en las resistencias de compresión, con un 95% de nivel de significancia.

3. Establecer la hipótesis alternativa adecuada.

H_a: Si, existe diferencia estadísticamente significativa en las resistencias de compresión, con un 95% de nivel de significancia.

4. Dar la fórmula para el valor calculado del estadístico de prueba.

Ecuación 23: T de Student para 10% de vidrio reciclado

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n_1} + \frac{\sigma^2}{n_2}}}$$

Ecuación 24: Varianza ponderada para el 10% de vidrio reciclado

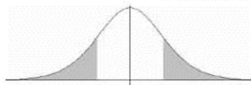
$$\sigma^2 = \frac{((n_1 - 1) * s_1^2) + ((n_2 - 1) * s_2^2)}{gl}$$

Ecuación 25: Grado de libertad para el 10% de vidrio reciclado

$$gl = n_1 + n_2 - 2$$

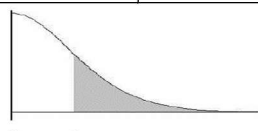
5. Establecer la región de rechazo para el nivel de significancia α especificado.
Considerando $\alpha = 0.05$

Tabla de valores críticos de la distribución t de Student



Niveles de Significancia DOS COLA

Grados de libertad	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025



Niveles de Significancia UNA COLA

La región de rechazo (R.R.) será: $\{Z \geq 1.4398 \text{ ó } Z \leq -1.4398\}$, será como dato Tt. Que se extrae de la Tabla de t Student.

6. Calcular las cantidades muestrales necesarias, sustituir en la fórmula del estadístico de prueba y calcular ese valor.

MUESTRA PATRON 0% VIDRIO		MUESTRA ADICIONADA 10% VIDRIO	
Tamaño de muestra (n_1)	4	Tamaño de muestra (n_2)	4
Valor promedio (\bar{x}_1)	340.11	Valor promedio (\bar{x}_2)	313.47
Desviación estándar (s_1)	7.13	Desviación estándar (s_2)	6.46
Grados de libertad (g.l.)			6
Varianza ponderada			173.25
Valor estadístico calculado (t_c)			2.8624
Valor estadístico tabulado (t_t)			1.4398

Fuente: Elaboración propia.

Para la producción de adoquines con la adición del 10 % de vidrio reciclado será: $t_c = 2.8624$

7. Determinar si H_0 debe ser rechazada o no y establecer una conclusión en el contexto del problema.

Como $t_c=2.8624$ es ≥ 1.4398 se rechaza H_0 . Los valores de la resistencia a la compresión de los adoquines con 0% vs 10% con vidrio, por lo tanto; sí existe diferencia estadísticamente significativa según diseño de 280 kg/cm^2 . Es por esta razón que no se acepta esta cantidad de 10% de vidrio en reemplazo del agregado.

PRUEBA DE HIPÓTESIS: PARA 20% VIDRIO RECICLADO

1. Identificar el parámetro de interés y describirlo en el contexto de la situación del problema.

¿Existe diferencia estadísticamente en las resistencias de compresión del adoquín convencional en cuanto al adoquín con la inclusión del 20% de vidrio reciclado?

2. Determinar el valor nulo y establecer la hipótesis nula.

H₀: No, existe diferencia estadísticamente significativa en las resistencias de compresión, con un 95% de nivel de significancia.

3. Establecer la hipótesis alternativa adecuada.

H_a: Si, existe diferencia estadísticamente significativa en las resistencias de compresión, con un 95% de nivel de significancia

4. Dar la fórmula para el valor calculado del estadístico de prueba.

Ecuación 26: T de Student para 20% de vidrio reciclado

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_3)}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n_1} + \frac{\sigma^2}{n_3}}}$$

Ecuación 27: Varianza ponderada para el 20% de vidrio reciclado

$$\sigma^2 = \frac{((n_1 - 1) * s_1^2) + ((n_3 - 1) * s_3^2)}{gl}$$

Ecuación 28: Grado de libertad para el 20% de vidrio reciclado

$$gl = n_1 + n_3 - 2$$

5. Establecer la región de rechazo para el nivel de significancia α especificado.

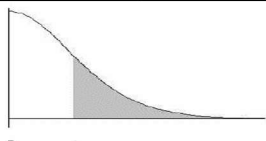
Considerando $\alpha = 0.05$

Tabla de valores críticos de la distribución t de Student



Niveles de Significancia DOS COLA

Grados de libertad	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025



Niveles de Significancia UNA COLA

La región de rechazo (R.R.) será: $\{Z \geq 1.4398 \text{ ó } Z \leq -1.4398\}$, será como dato T_t . Que se extrae de la Tabla de t Student.

6. Calcular las cantidades muestrales necesarias, sustituir en la fórmula del estadístico de prueba y calcular ese valor.

MUESTRA PATRON 0% VIDRIO		MUESTRA ADICIONADA 20% VIDRIO	
Tamaño de muestra (n_1)	4	Tamaño de muestra (n_3)	4
Valor promedio (\bar{x}_1)	340.11	Valor promedio (\bar{x}_3)	329.25
Desviación estándar (s_1)	7.13	Desviación estándar (s_3)	3.63
Grados de libertad (g.l.)			6
Varianza ponderada			158.94
Valor estadístico calculado (t_c)			1.2188
Valor estadístico tabulado (t_t)			1.4398

Fuente: Elaboración propia.

Para la producción de adoquines con la adición del 20 % de vidrio reciclado será: $t_c = 1.2188$

7. Determinar si H_0 debe ser rechazada o no y establecer una conclusión en el contexto del problema.

Como $t_c = 1.2188$ es ≤ 1.4398 se acepta H_0 . Los valores de la resistencia a la compresión de los adoquines con 0% vs 20% con vidrio, por lo tanto; no existe diferencia estadísticamente significativa según diseño de 280 kg/cm^2 . Es por esta razón que se acepta esta cantidad de 20% de vidrio en reemplazo del agregado.

PRUEBA DE HIPÓTESIS: PARA 30% VIDRIO RECICLADO

1. Identificar el parámetro de interés y describirlo en el contexto de la situación del problema.

¿Existe diferencia estadísticamente en las resistencias de compresión del adoquín convencional en cuanto al adoquín con la inclusión del 30% de vidrio reciclado?

2. Determinar el valor nulo y establecer la hipótesis nula.

H₀: No, existe diferencia estadísticamente significativa en las resistencias de compresión, con un 95% de nivel de significancia.

3. Establecer la hipótesis alternativa adecuada.

H_a: Si, existe diferencia estadísticamente significativa en las resistencias de compresión, con un 95% de nivel de significancia.

4. Dar la fórmula para el valor calculado del estadístico de prueba.

Ecuación 29: T de Student para 30% de vidrio reciclado

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_4)}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n_1} + \frac{\sigma^2}{n_4}}}$$

Ecuación 30: Varianza ponderada para el 30% de vidrio reciclado

$$\sigma^2 = \frac{((n_1 - 1) * s_1^2) + ((n_4 - 1) * s_4^2)}{gl}$$

Ecuación 31: Grado de libertad para el 30% de vidrio reciclado

$$gl = n_1 + n_4 - 2$$

5. Establecer la región de rechazo para el nivel de significancia α especificado.

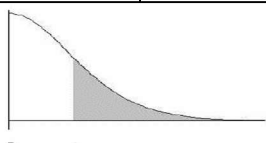
Considerando $\alpha = 0.05$

Tabla de valores críticos de la distribución t de Student



Niveles de Significancia DOS COLA

Grados de libertad	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025



Niveles de Significancia UNA COLA

La región de rechazo (R.R.) será: $\{Z \geq 1.4398 \text{ ó } Z \leq -1.4398\}$, será como dato Tt. Que se extrae de la Tabla de t Student.

6. Calcular las cantidades muestrales necesarias, sustituir en la fórmula del estadístico de prueba y calcular ese valor.

MUESTRA PATRON 0%		MUESTRA ADICIONADA	
VIDRIO		30% VIDRIO	
Tamaño de muestra (n_1)	4	Tamaño de muestra (n_4)	4
Valor promedio (\bar{x}_1)	340.11	Valor promedio (\bar{x}_4)	337.22
Desviación estándar (s_1)	7.13	Desviación estándar (s_4)	7.20
Grados de libertad (g.l.)			6
Varianza ponderada			178.27
Valor estadístico calculado (t_c)			0.3066
Valor estadístico tabulado (t_t)			1.4398

Fuente: Elaboración propia.

Para la producción de adoquines con la adición del 30 % de vidrio reciclado será: $t_c = 0.3066$.

7. Determinar si H_0 debe ser rechazada o no y establecer una conclusión en el contexto del problema.

Como $t_c=0.3066$ es ≤ 1.4398 se acepta H_0 . Los valores de la resistencia a compresión de los adoquines con 0% vs 30% con vidrio, por lo tanto, no existe diferencia estadísticamente significativa según diseño de 280 kg/cm². Es por esta razón que se acepta esta cantidad de 30% de vidrio en reemplazo del agregado.

5.8. RESULTADOS DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ADOQUINES

Los precios de materiales respecto a la producción de los adoquines convencionales 0% de vidrio, con los adoquines con la inclusión del 10% de vidrio reciclado será de s/. 0.03 nuevos soles.

Los precios de materiales respecto a la producción de los adoquines convencionales 0% de vidrio, con los adoquines con la inclusión del 20% de vidrio reciclado será de s/. 0.06 nuevos soles.

Los precios de materiales respecto a la producción de los adoquines convencionales 0% de vidrio, con los adoquines con la inclusión del 30% de vidrio reciclado será de s/. 0.13 nuevos soles.

Los costos para un metro cuadrado (50 unidades), demuestran que fabricar unidades de adoquines con la adición del 30% de vidrio; que tiene un precio por m² de s/. 96.99, resulta económicamente insatisfactorio en comparación con los precios de adoquines convencionales con 0% de vidrio; ya que tiene un precio por m² de s/. 97.12. La diferencia de precio sería de s/. 0.13 nuevos soles equivalente por metro cuadrado (m²).

5.8.1. RESULTADOS DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ADOQUINES CONVENCIONALES Y LOS ADOQUINES CON 10%, 20% y 30% DE VIDRIO RECICLADO COMO REEMPLAZO DE AGREGADO FINO

Tabla 91

Resumen de costos de producción de adoquines convencionales y los adoquines con 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado como reemplazo de agregado fino, en 1m² de adoquines f'c=280 Kg/cm²

Descripción	Costo por m ² de Adoquines f'c =280 Kg/cm ²
Adoquines convencionales	S/. 97.12
Adoquines con 10% de vidrio reciclado sustituyendo agregado fino	S/. 97.09
Adoquines con 20% de vidrio reciclado sustituyendo agregado fino	S/. 97.06
Adoquines con 30% de vidrio reciclado sustituyendo agregado fino	S/. 96.99

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 92

Diferencia en los costos de producción de adoquines convencionales y los adoquines con 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado como reemplazo de agregado fino

Descripción	Diferencia del costo de adoquines con vidrio reciclado con los adoquines convencionales
Adoquines con 10% de vidrio reciclado sustituyendo agregado fino	S/. 0.03
Adoquines con 20% de vidrio reciclado sustituyendo agregado fino	S/. 0.06
Adoquines con 30% de vidrio reciclado sustituyendo agregado fino	S/. 0.13

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se concluye que la adición del vidrio para la producción de adoquines se podrá aplicar a pavimentos articulados porque mejora notablemente las características físicas y mecánicas de los adoquines convencionales, por lo que la hipótesis de la investigación se da por aceptada.

La producción de los adoquines con vidrio reciclado presenta varios beneficios y ventajas; porque el vidrio es un material reciclado, que reduce la explotación de agregados finos y la contaminación del medio ambiente, ya que el vidrio puede tardar hasta 4,000 años en degradarse. Además de ser un elemento que no contiene material orgánico con el procedimiento adecuado de desinfección, a diferencia de la arena que puede contener pequeñas cantidades siendo perjudicial para las propiedades del concreto.

2. Las propiedades físicas y mecánicas de los componentes para la producción de adoquines como son: el peso específico, % absorción, contenido de humedad, peso unitario suelto, peso unitario compactado y la granulometría; todos estos cumplen con los rangos establecidos por las normas técnicas peruanas. Encontrándose en la producción de adoquines la siguiente característica del concreto como la trabajabilidad de la mezcla de concreto con el reemplazo parcial del agregado fino por el vidrio triturado; mejorando sutilmente conforme se aumenta el porcentaje de vidrio al tener este la propiedad de ser impermeable, a diferencia de la arena que absorbe el excedente de agua. Tomando en cuenta las características de impermeabilidad del vidrio se asume que la mezcla de concreto modificada tuvo mayor contenido de humedad que el esperado.

La apariencia física de las muestras de adoquines de concreto convencional con los de reemplazo de agregado fino por vidrio triturado; una vez transcurrido el tiempo de curado no tuvo una mayor diferencia, existió una mínima porosidad en las muestras de inclusión de vidrio, por el agua que no fue absorbida y a su vez se evaporó dejando espacios vacíos. Con respecto a la exudación se presentó de igual forma en las muestras de adoquines con inclusión de vidrio por la impermeabilidad de este y con respecto al color no se obtuvo diferencia significativa alguna.

3. Para la producción de adoquines a proporciones de: 0%, 10%, 20% y 30% con vidrio reciclado, el método empleado para el diseño de mezcla fue el método de Agregado Global. Tras evaluar la resistencia a compresión de los adoquines con mezcla patrón y los adoquines con mezcla adicionada, se concluye que el óptimo contenido del 30% de vidrio reciclado a los 28 días, se demuestra que este alcanzó una resistencia 337.22 kg/cm^2 respecto a la resistencia de diseño $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, con lo que satisfacen lo dispuesto en la norma NTP 399.611.

La resistencia de compresión se ve incrementada conforme aumenta la edad del concreto, tanto en los adoquines convencionales y los adoquines con la inclusión de vidrio, debido a que al usar este material este sigue el fenómeno físico de endurecimiento que el cemento y la adherencia aumenta conforme pasa el tiempo por la liberación de agua que no es absorbida por el vidrio.

La producción de los adoquines con óptima inclusión de vidrio reciclado molido del 30% para este proyecto nos demuestra que es posible la utilización de este material para la producción de adoquines; mejorando con la inclusión las características físicas y mecánicas del adoquín.

Según el análisis estadístico T Student se concluye que el $t_c=0.3066$ es menor igual a $t_t=1.4398$, por lo que se acepta H_0 para los valores de la resistencia a compresión de los adoquines con 0% vs 30% con vidrio, ya que no existe diferencia estadísticamente significativa según diseño de 280 kg/cm^2 . Es por esta razón que se acepta esta cantidad de 30% de vidrio en reemplazo del agregado.

4. En la elaboración del costo comparativo en la producción de los adoquines a diferentes proporciones vidrio reciclado, el costo de producción de los adoquines con la inclusión del 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado; según los análisis de costos unitarios, cumple con las condiciones técnicas necesarias para la directa aplicación en pavimentos articulados para un tránsito peatonal, siendo esta una alternativa de pavimentación.

El costo comparativo de los adoquines con 0% de vidrio con respecto a los adoquines con inclusión del 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado alcanzaron costos relativamente bajos, esta última es mayor en s/. 0.13 por m^2 , respecto al adoquín convencional, esto se da por el proceso de trituración e inclusión del vidrio para ser apto para la producción de adoquines. Este valor reduce y compensa la explotación de los agregados finos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que deben existir lugares de acopio para el vidrio en zonas estratégicas dentro de la ciudad; para su posterior de desinfección y trituración antes de ser utilizado en el concreto, el proceso de triturado del vidrio se debe realizar con un sistema de protección personal para evitar daños en los pulmones por la aspiración de este polvo u otro cualquier accidente que pueda ocurrir.

El reciclado y triturado del vidrio se recomienda hacerlo mediante la ayuda de una empresa; implementando técnicas en los procesos de reciclado, estableciendo lugares seguros para el acopio del material y utilizar maquinas especializadas para los procesos de trituración, para de esta manera poder obtener un concreto a grandes escalas que permita la reducción de índices de contaminación en el ambiente.

2. Para las propiedades físicas y mecánicas de los agregados empleados en la producción de adoquines deberán ser de una misma cantera, para que todas las mezclas puedan mantener las mismas condiciones físicas.

Los ensayos para determinar las propiedades físicas de los agregados y vidrio; se deben realizar conforme los procedimientos normalizados en la NTP y ASTM, para que los resultados sean correctos y nos permitan tener la dosificación adecuada para el concreto.

Se recomienda tener un módulo de fineza del agregado fino, que no sea menor al especificado por la NTP de 2.40 para que este no afecte la resistencia del concreto, pero también que este se vea influenciado en una buena distribución de sus partículas tratando en lo posible, de usar arena con granulometría continua con la finalidad de obtener superficies de buena textura.

Para conservar la uniformidad de los adoquines que dependen en gran medida de los agregados deben verificarse la calidad y la granulometría del agregado empleado, ya que no siempre es constante tratando de hacer en lo posible diseños de mezcla preliminares para ver el comportamiento del concreto.

El vidrio a tratar se recomienda a los futuros investigadores realizar el análisis químico de éste, para ver su comportamiento en el concreto aplicado en pavimentos articulados.

3. Para la producción de adoquines, será necesario controlar las proporciones de los materiales y el porcentaje de adición óptima de 30% de vidrio molido de la mezcla en base al Método de diseño ACI o método del agregado global, los cuales se recomiendan que las proporciones sean por peso.

Para obtener adoquines de concreto que cumplan con las tolerancias dimensionales y que el proceso de desmolde sea inmediato, es necesario controlar que los agregados no tengan exceso de material fino y que la dosificación se realice con la cantidad mínima necesaria de agua; para evitar la rotura de los adoquines al ser desmoldados, se recomienda que para tener un buen desmolde y un buen acabado, es necesario dosificar muy cuidadosamente el contenido de agua de la mezcla, para que ésta no resulte ni muy seca ni demasiado húmeda; en el primer caso se corre el peligro de la fisuración o el desmoronamiento del adoquín recién fabricado, en el segundo que el material se asiente deformando las dimensiones.

Para que los adoquines adquieran una buena resistencia, es necesario que se realice un buen curado y estén constantemente humedecidos por lo menos durante 7 días; luego de 28 días se apilan en lugares más apropiados para su almacenamiento.

Para futuros investigadores; se recomienda usar maquina vibro compactadora para producir adoquines en mayor escala.

4. Para el costo de producción; es importante la recolección del vidrio en contenedores para que sea fácil su transporte y manipulación y así reducir costo de maniobra, contratar mano de obra local para la producción de adoquines, para así generar fuentes de empleo, con lo cual el personal que trabajaría se beneficiaría por tener empleo.

Para futuros investigadores; la trituración del vidrio reciclado se recomienda emplear una máquina trituradora, para reducir el costo de producción para los adoquines.

Este tipo de adoquines con vidrio reciclado motiva a futuros investigadores a realizar mejoras en la comercialización y producción de adoquines, para poder mejorar nuestras vías de la ciudad de Puno, ya sea a nivel regional.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2010). *Tecnología del Concreto*. Lima: San Marcos.
- Adoquines, M. (26 de Mayo de 2015). *Google*. Obtenido de Google:
http://www.madrid.es/UnidadWeb/Contenidos/Publicaciones/TemaUrbanismo/CondTecnPav/22_3
- Almeida J. y Trujillo C. (2017). *Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones*. Quito.
- Almeida, A. (1997). Control de calidad de bloques y adoquines producidos. Quito, Ecuador.
- Arias, F. (2005). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología Científica*. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Bavaresco de Prieto, A. (2006). *Proceso metodológico de la investigación. Cómo hacer un diseño de investigación*. Maracaibo, Venezuela: Universidad de Zulia.
- Calderón, J. (2010). *El vidrio en la construcción Tipologías y usos*. Valencia.
- Casasaumell. (12 de Marzo de 2016). *Google*. Obtenido de Google:
<http://www.casasaumell.com.ar/pdf/InformeTecnicoVidrio.pdf>
- Catalán, C. (2013). *Estudio de la influencia de vidrio molido en homirgones grado H15, H20 y H30*. Valdivia.
- Echaveguren, T. (2013). *Manual de Diseño de Pavimentos de Adoquines de Hormigón*. Santiago: Gráfica LOM.
- Elizalde, E. (2012). *Microeconomía*. Mexico: Red Tercer Milenio S. C.
- Fernández, J. (2003). *El vidrio*. España: Departamento de Publicaciones.
- García, R. (2004). *Manual para el uso del adoquin cerámico*. Madrid.
- Guerson, W. (2017). *Influencia del vidrio molido en la resistencia de la compresión del concreto y costos de fabricación, comparando con concreto convencional, Barranca-2016*. Huaraz.
- Guillermo, G. (1 de Setiembre de 2017). *Google*. Obtenido de Google:
<http://www.arqcon.com.ar/pprof/Aadh/pppavhormigon1.html#op>
- Gutierrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Lema. (8 de Febrero de 2016). *Google*. Obtenido de Google:
<http://lema.rae.es/drae/?val=VIDRIO>
- Montejo, A. (2008). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Montoya, C. (2000). *Hormigón armado*. Colombia: Citrus.



- NTP 399 611. (2015). Unidades de Albañilería. Adoquines de concreto. *Adoquines de concreto para pavimento*, 17.
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Lima: Limusa.
- Pearson, C. (2010). *Manual del vidrio plano*. Buenos Aires: TOD Producciones S. A.
- Polanco, A. (2000). *Manual de prácticas de laboratorio de concreto*. Chihuahua.
- Ramos, G. (19 de Mayo de 2018). *Google*. Obtenido de Google:
:http://www.gabrielramosehijos.com/pdf/upload/productos/03_adoquin[1].pd
- Rivera, G. (2000). *Concreto Simple*. Cauca.
- Rivva, E. (1992). *Diseño de Mezclas*. Lima: Hozlo S.CR.L.
- RNE. (2016). CE.010. En R. N. Edificaciones, *Pavimentos Urbanos* (págs. 250-500). Lima: Limusa.
- Roben, E. (2003). *El Reciclaje. Oportunidades para reducir la generación de los desechos sólidos y reintegrar materiales recuperables en el círculo económico*. Loja, Ecuador: Municipalidad de Loja.
- Sánchez, D. (1994). *Tecnología del concreto y mortero*. Colombia: Bhandar Editores.
- Torre, A. (2004). *Curso Básico de Tecnología del Concreto*. Lima: UNI.
- Unilock. (2006). *Guía técnica avanzada para adoquines y muro de contención*. Boston.
- Velazco, M. (2005). *Laboratorio de Concreto*. Guadalajara: Centro Universitario de la Costa.
- Zarta, A. y Moreno, C. (2002). *Propuesta para un manejo integral de los residuos sólidos industriales: vidrio, plástico, cartón y chatarra, generados en Alpina S.A., Pelpak S.A., Colpapel S.A., Bel Star S.A, Ceramita S.A., empresas localizadas en los municipios de Sopo y Tocancipá*. Cundinamarca.

PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N° 1: Cantera y puente del rio Malcomayo aguas arriba



Fotografía N° 2: Cantera y puente del rio Malcomayo aguas abajo



Fotografía N° 3: Separación y recojo de la muestra de Cantera



Fotografía N° 4: Secado de la muestra de Cantera



Fotografía N° 5: Ensayo Peso unitario suelto (PUS)



Fotografía N° 6: Ensayo Peso unitario compactado (PUC)



Fotografía N° 7: Ensayo Peso específico del vidrio



Fotografía N° 8: Ensayo granulometría de agregado



Fotografía N° 9: Muestras de la granulometría de agregado



Fotografía N° 10: Muestras de la granulometría del agregado con vidrio reciclado



Fotografía N° 11: Trabajo de separación y preparación del agregado fino



Fotografía N° 12: Trabajo de lavado agregado fino



Fotografía N° 13: Instrumentos y herramientas para producción de adoquines



Fotografía N° 14: Trabajo preparación de vidrio reciclado



Fotografía N° 15: Trabajo de trituración de vidrio reciclado



Fotografía N° 16: Trabajo de trituración de vidrio reciclado por el tamiz N° 4



Fotografía N° 17: Producción de adoquines con 0% de vidrio reciclado



Fotografía N° 18: Producción de adoquines con 10% de vidrio reciclado



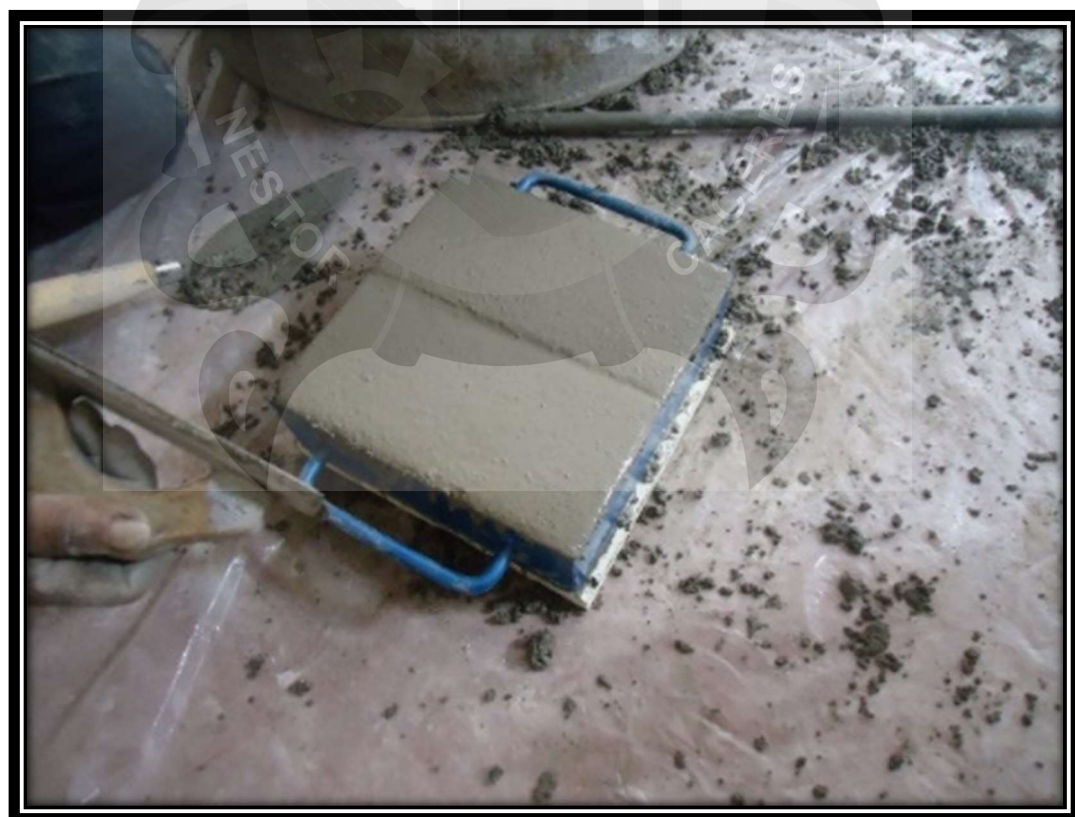
Fotografía N° 19: Adición de aditivo para 0%, 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado



Fotografía N° 20: Producción para 0%, 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado



Fotografía N° 21: Producción para 0%, 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado



Fotografía N° 22: Producción de adoquines con 0% de vidrio reciclado



Fotografía N° 23: Producción para 0%, 10%, 20% y 30% de vidrio reciclado



Fotografía N° 24: Preparación de cal para curado de adoquines



Fotografía N° 25: Disolución para curado de adoquines



Fotografía N° 26: Desmolde para adoquines



Fotografía N° 27: Preparación para recapeo de adoquines



Fotografía N° 28: Ensayo de medición dimensional de adoquines



Fotografía N° 29: Ensayo compresión a los 7 días de adoquines



Fotografía N° 30: Ensayo compresión a los 7 días de adoquines



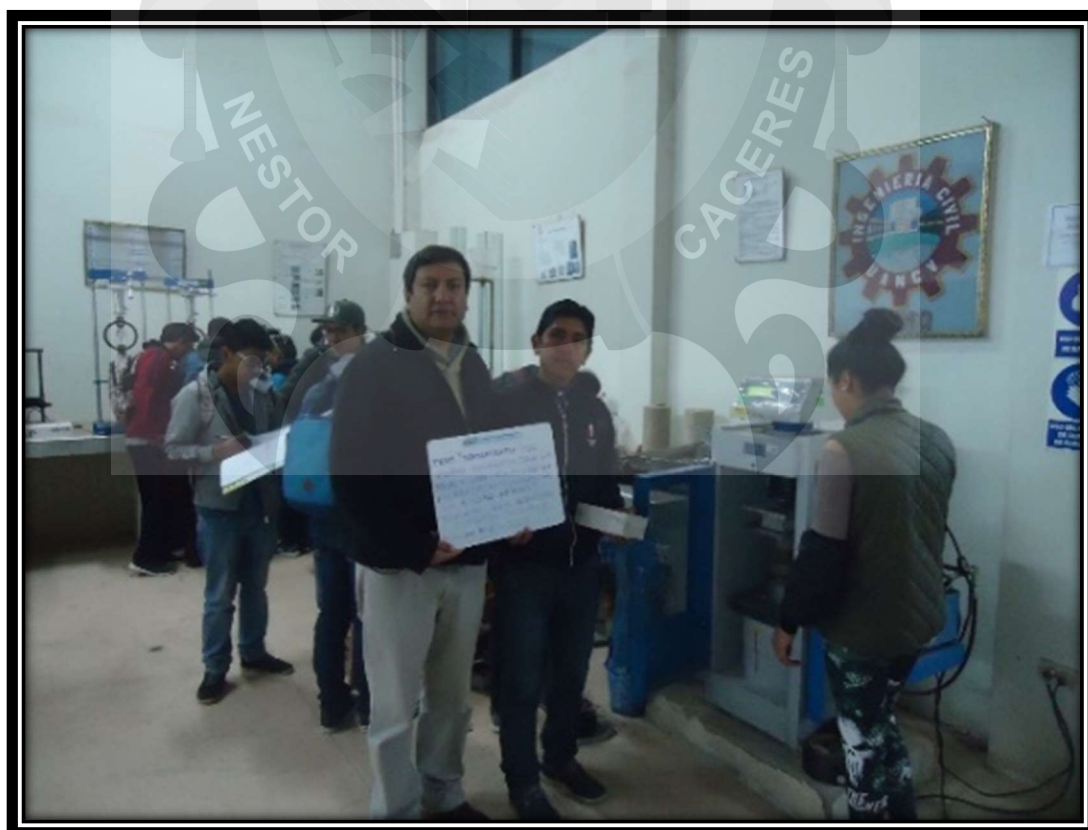
Fotografía N° 31: Muestras fracturadas a los 7 días de adoquines



Fotografía N° 32: Colocación de molde para ensayo compresión a los 14 días



Fotografía N° 33: Ensayo compresión a los 14 días de adoquines



Fotografía N° 34: Visita inopinada del Mgtr. Ing. Hernán Pedro Martínez Ramos



Fotografía N° 35: Ensayo de rotura a compresión a los 14 días de adoquines



Fotografía N° 36: Muestras preparadas para rotura a la compresión a los 28 días.



Fotografía N° 37: Ensayo compresión a los 28 días de adoquines



Fotografía N° 38: Lectura de datos para rotura a compresión a los 28 días



Fotografía N° 39: Ensayo en laboratorio de geo mecánica y mecánica de rocas de la UNAP



Fotografía N° 40: Equipo para ensayo de rotura a compresión a los 28 días.



Fotografía N° 41: Preparación de adoquín a ensayo a compresión a los 28 días.



Fotografía N° 42: Inmersión completa de adoquines para ensayo de absorción



Fotografía N° 43: Extracción y secado de adoquines del agua a las 24 horas



Fotografía N° 44: Realización del pesado respectivo de las muestras



Fotografía N° 45: Retiro de muestras de los adoquines para ensayo de absorción



Fotografía N° 46: Ventilación y enfriado de los adoquines para absorción

ANEXOS

Anexo N° 1: Tabla de resistencia promedio a la compresión

Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra			
Resistencia especificada a la compresión, Kg/cm ²	Resistencia promedio requerida a la compresión, Kg/cm ²	Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 210$	$f'_{cr} = f'_c + 70$	$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 84$	$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 350$	$f'_{cr} = f'_c + 98$	$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.1 f'_c + 5$

Anexo N° 2: Tabla de selección de asentamiento

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	Asentamiento	
	máximo	mínimo
Zapatas y Muros de cimentación Armados	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"
El asentamiento puede incrementarse en 1" si se emplea un método de consolidación diferente a la vibración		

Esta Tabla ha sido confeccionada por el comité 211 del ACI

Anexo N° 3: Tabla de volumen unitario de agua

Asentamiento	Agua en Lts/m ³ , para los tamaños máximos nominales de agregado y consistencia indicados							
	3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	6 "
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

Esta Tabla ha sido confeccionada por el comité 211 del ACI

Anexo N° 4: Tabla de contenido de aire atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado	
3/8 "	3.0	%
1/2 "	2.5	%
3/4 "	2.0	%
1 "	1.5	%
1 1/2 "	1.0	%
2 "	0.5	%
3 "	0.3	%
6 "	0.2	%

Anexo N° 5: Tabla de relación agua-cemento por resistencia

f ' cr (28 días)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
450	0.38	---



Anexo N° 6: Tabla de apuntes

INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA
COMPRESIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO

Proyecto:

Cliente:

Fecha de fabricación:

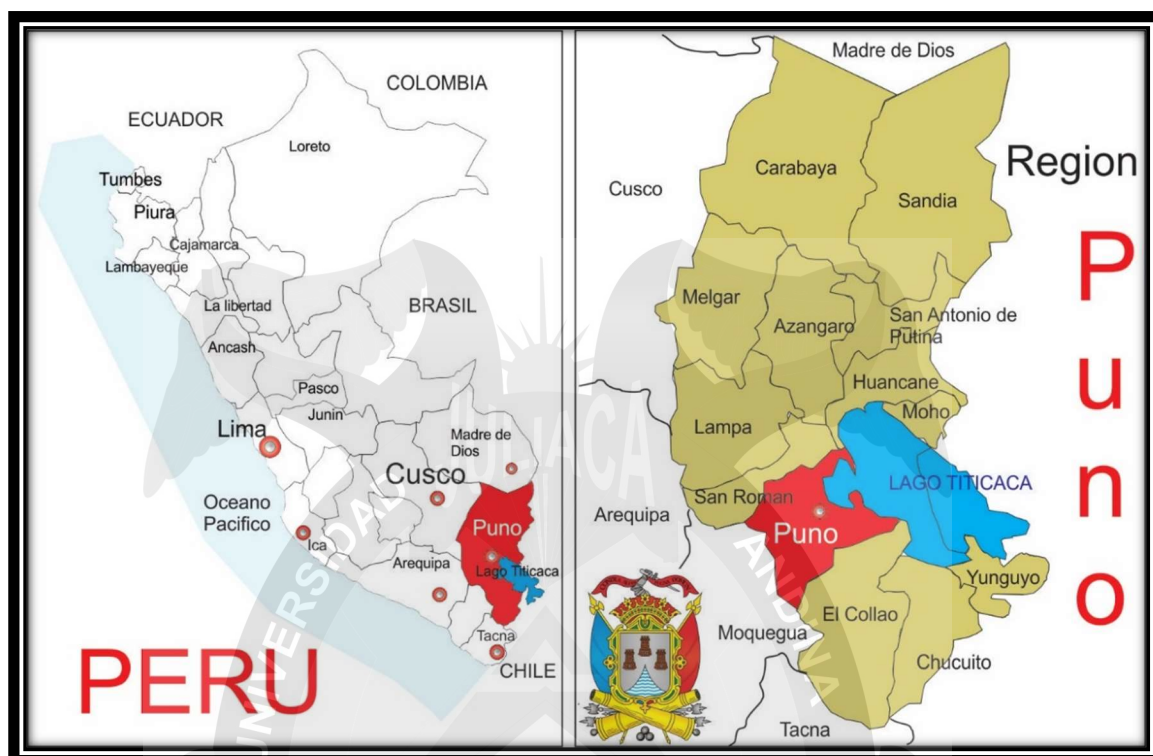
Fecha de ensayo:

Espécimen N°					
Identificación					
Largo (mm)					
Largo promedio, L (mm)					
Ancho (mm)					
Ancho promedio, W (mm)					
Altura (mm)					
Altura promedio, H (mm)					
Área Neta, An (mm ²)					
Carga Máxima, Pmax (Kg)					
Resistencia Área Neta, (Kg/cm ²)					
Resistencia Área Neta Promedio, (Kg/cm ²)					

Observaciones:

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
LACM	Ing.....	

Anexo N° 7: Mapa de ubicación geográfica del lugar de investigación



A NIVEL NACIONAL

A NIVEL REGIONAL



A NIVEL PROVINCIAL

Anexo N° 8: Certificado de laboratorio de diseño de mezcla

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO**DISEÑO DE MEZCLA $F'c = 280 \text{ Kg./cm.}^2$**

PROYECTO : "TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO"

SOLICITANTE : BACH. CONDORI MAMANI, LUIS ALBERTO

UBICACIÓN : PUNO

CANTERA : MALKUMAYO - PUNO

FECHA : 12 DE MARZO DEL 2018

PROCESO DE DISEÑO:**METODO DE DISEÑO GLOBAL**

El requerimiento promedio de resistencia a la compresión $F'c = 280 \text{ Kg./cm.}^2$ a los 28 días entonces la resistencia promedio $F'cr = 364 \text{ Kg./cm.}^2$

Las condiciones de colocación permiten un asentamiento de 1" a 2" (25,4 mm. A 50,8 mm.).

Dado el uso del agregado, se utilizará el único agregado de calidad satisfactoria y económicamente disponible, el cual cumple con las especificaciones. Cuya graduación para el diámetro máximo nominal es de: $3/8"$ (9.53mm)

Además se indica las pruebas de laboratorio para los agregados realizadas previamente:

RESULTADOS DE LABORATORIO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	AGREGADO GLOBAL (GRAVA)
P.e de Cemento	2.88
P.e SSS Global	2.36
P.e Bulk	
P.U. Varillado Global	1541.79
P.U. Suelto Global	1429.12
% de Absorción Global	4.23
% de Humedad Natural Global	2.58
Modulo de Fineza Global	3.16

Los cálculos aparecerán únicamente en forma esquemática:

- 1, El asentamiento dado es de 1" a 2" (25,4 mm. a 50,8 mm.) $3/8"$ (9.53mm)
- 2, Se usará el agregado disponible en la localidad, el cual posee un diámetro nominal:
- 3, Puesto que no se utilizara aire incorporado, pero la estructura estará expuesta a intemperismo severo, la cantidad aproximada de agua de mezclado que se empleará para producir el asentamiento indicado será de: 207 Lt/m³
- 4, Como el concreto no estará sometido a intemperismo severo se considera un contenido de aire atrapado de: 3.0 %

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
FILIAL PUNO
Mg. Ing. Felipe Santiago Jara Vidalón Vega
C.I.P. 26510UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FILIAL PUNO
Bach. I.C. Edwin Yael Choque Guzman
ENCARGADO DE LABORATORIO ING. CIVIL PUNO

- 5, Como se prevee que el concreto será atacado por sulfatos, entonces la relación agua/cemento (a/c) será de: **0.45**
- 6, De acuerdo a la información obtenida en los ítems 3 y 4 el requerimiento de cemento será de:

$$(207 \text{ Lt/m}^3) / (0.45) = 460 \text{ Kg/m}^3$$

- 7, Volumen absoluto de la pasta

La suma de los volúmenes absolutos de los elementos integrales de la pasta será :

$$\begin{aligned} \text{Volumen absoluto de agua} &= (207) / (1000) = 0.207 \\ \text{Volumen absoluto de cemento} &= (460) / (2.88 * 1000) = 0.160 \\ \text{Volumen de aire atrapado} &= (3.0) / (100) = 0.030 \\ \text{Volumen sub total} &= 0.397 \end{aligned}$$

- 8, Volumen absoluto de agregado

$$\text{Por tanto el peso requerido de agregado s. será de: } = (1.000 - 0.397) = 0.603 \text{ m}^3$$

- 9, peso seco del agregado

$$\text{Peso seco del agregado } (0.603) * (2.36) * (1000) = 1425 \text{ Kg}$$

- 10, Corrección por humedad del agregado
adición de agua. De esta manera la cantidad de agua efectiva es:

$$(\frac{4.23 - 2.58}{100}) * (1425) = 23.58$$

DOSIFICACION

AGREGADO	DOSIFICACION EN PESO SECO (Kg/m ³)	PROPORCION EN PESO SECO	DOSIFICACION EN PESO HUMEDO (Kg/m ³)	PROPORCION EN VOLUMEN PESO HUMEDO
Cemento	460	1.00	460	1.00
Agua	207	0.45	231	0.50
Agreg. Global	1425	3.10	1462	3.18
Aire	3.0 %		3.0 %	

10.82 BOLSAS / m³ DE CONCRETO

DOSIFICACION POR PESO:

Cemento	:	42.50 Kg.
Agregado Global	:	135.04 Kg.
Agua efectiva	:	21.30 Kg.

OBSERVACIONES

LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO Y ENSAYADAS POR EL TESISISTA.



 Ing. Felipe Santiago Jara Vidalón Vega
 CIP. 26510



 Ing. L.C. Edwin Yoel Choque Buzman
 ENCARGADO DE LABORATORIO ING. CIVIL PUNO



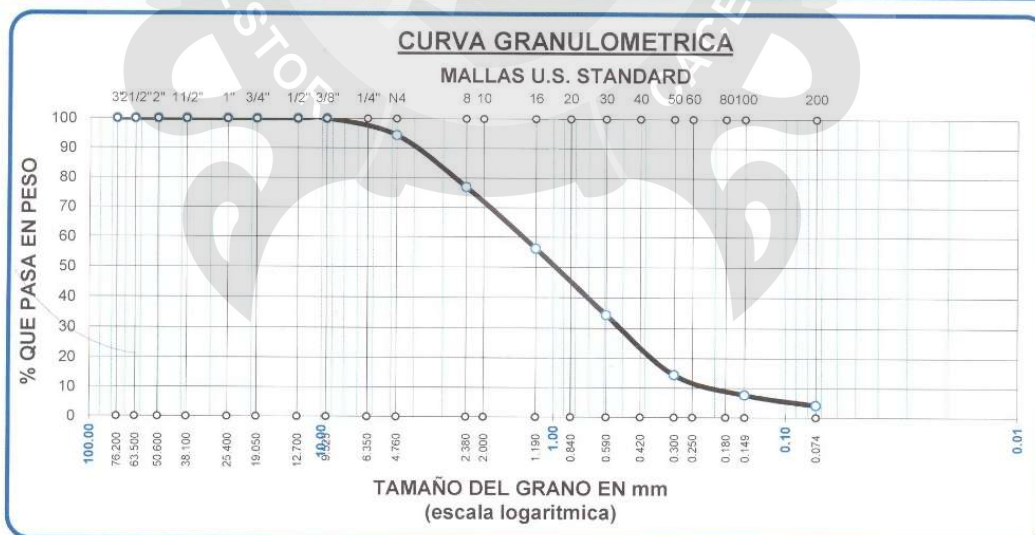
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DISEÑO GLOBAL

PROYECTO : "TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO"
SOLICITANTE : BACH. CONDORI MAMANI, LUIS ALBERTO
UBICACIÓN : PUNO
CANTERA : MALKUMAYO - PUNO
FECHA : 12 DE MARZO DEL 2018

TAMICES	ABERTURA	PESO	%RETENIDO	%RETENIDO	% QUE	TAMAÑO MÁXIMO:
ASTM	mm	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	P.I.= 500.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	P.L.=
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	P.P.= 4.13 %
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	% W = 2.58 %
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	TAMAÑO MAX. NOMINAL :
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	3/8"
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00	
No4	4.760	28.43	5.69	5.69	94.31	CARACT. GRANULOMETRICAS:
No8	2.380	87.22	17.44	23.13	76.87	D10= 0.202 Cu= 7.0
No10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00	D30= 0.527 Cc= 0.98
No16	1.190	103.35	20.67	43.80	56.20	D60= 1.41
No20	0.840	0.00	0.00	0.00	100.00	MODULO DE FINEZA
No30	0.590	109.40	21.88	65.68	34.32	mf = 3.16
No40	0.420	0.00	0.00	0.00	100.00	
No 50	0.300	99.66	19.93	85.61	14.39	
No60	0.250	0.00	0.00	0.00	100.00	
No80	0.180	0.00	0.00	0.00	100.00	
No100	0.149	33.78	6.76	92.37	7.63	OBSERVACIONES:
No200	0.074	17.53	3.51	95.87	4.13	
BASE		20.63	4.13	100.00	0.00	
TOTAL		500.00	100.00			
% PERDIDA						



OBSERVACIONES:



Las muestras fueron ensayadas en laboratorio y ensayadas por el Tesisista.
Mg. Ing. Felipe Santiago Jara Vidala Vega
CIP. 26610



Bach. T.C. Edwin Yoel Choque Guzman
CIP. 26610



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



PROYECTO : "TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN
PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO"
SOLICITANTE : BACH. CONDORI MAMANI, LUIS ALBERTO
UBICACIÓN : PUNO
CANTERA : MALKUMAYO - PUNO
FECHA : 12 DE MARZO DEL 2018

ANALISIS MECANICO Y PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

AGREGADO GLOBAL			
Peso Específico y Absorción Método del Picnómetro			
A	-Peso de muestra secada al horno		479.70
B	-Peso de muestra saturada seca (SSS)		500.00
Wc	-Peso del picnómetro con agua		1313.80
W	-Peso del Pic. + muestra + agua		1610.70
PESO ESPECIFICO			
Wc+B =	1814	Wc+B-W =	203
Pe =	$\frac{A}{Wc+B-W}$		2.36
ABSORCION			
B =	500.00	B-A =	20.30
Abs =	$\frac{(B-A) \times 100}{A}$		4.23

PESO ESPECIFICO GLOBAL = 2.36
ABSORCION GLOBAL = 4.23

OBSERVACIONES:

LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO Y ENSAYADAS POR EL TESISISTA.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
FILIAL PUNO

Mg. Ing. Felipe Santiago Jara Vidalón Vega
CIP. 26510



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FILIAL PUNO
Bach. Ing. Edwin Ydel Choque Guzman
ENCARGADO DE LABORATORIO ING. CIVIL PUNO



Anexo N° 9: Certificado de rotura de compresión de adoquines



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



ENSAYO ROTURA DE ADOQUINES DE CONCRETO

NTP-399-611

PROYECTO : "TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO"
SOLICITANTE : BACH. CONDORI MAMANI, LUIS ALBERTO
LUGAR : PUNO
FECHA : 21 DE MAYO DEL 2018

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	CARGA Kg	AREA cm ²	ESF. ROTURA Kg/cm ²	F'C Kg/cm ²	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DIAS	%	PROM.
1	MUESTRA 01 20.10 x 10.16 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	53940.00	204.22	264.13	280	14/05/2018	21/05/2018	7	94.33%	105.70%
2	MUESTRA 02 20.00 x 10.00 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	63870.00	200.00	319.35	280	14/05/2018	21/05/2018	7	114.05%	
3	MUESTRA 03 20.05 x 9.90 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	66990.00	198.50	337.49	280	14/05/2018	21/05/2018	7	120.53%	
4	MUESTRA 04 20.15 x 10.15 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	53760.00	204.52	262.86	280	14/05/2018	21/05/2018	7	93.88%	
5	MUESTRA 01 20.12 x 10.18 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	45850.00	204.82	223.85	280	14/05/2018	21/05/2018	7	79.95%	78.95%
6	MUESTRA 02 20.15 x 10.15 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	46720.00	204.52	228.43	280	14/05/2018	21/05/2018	7	81.58%	
7	MUESTRA 03 20.15 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	44670.00	203.52	219.49	280	14/05/2018	21/05/2018	7	78.39%	
8	MUESTRA 04 20.10 x 10.00 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	42700.00	201.00	212.44	280	14/05/2018	21/05/2018	7	75.87%	
9	MUESTRA 01 20.12 x 10.18 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	51550.00	204.82	251.68	280	14/05/2018	21/05/2018	7	89.89%	86.58%
10	MUESTRA 02 20.10 x 10.15 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	50860.00	204.02	249.30	280	14/05/2018	21/05/2018	7	89.03%	
11	MUESTRA 03 20.12 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	47570.00	203.21	234.09	280	14/05/2018	21/05/2018	7	83.60%	
12	MUESTRA 04 20.00 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	47400.00	202.00	234.65	280	14/05/2018	21/05/2018	7	83.80%	
13	MUESTRA 01 20.00 x 10.00 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 30%	57600.00	200.00	288.00	280	14/05/2018	21/05/2018	7	102.86%	109.04%
14	MUESTRA 02 20.10 x 10.15 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 30%	67980.00	204.02	333.21	280	14/05/2018	21/05/2018	7	119.00%	
15	MUESTRA 03 20.18 x 10.18 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 30%	64110.00	205.43	312.07	280	14/05/2018	21/05/2018	7	111.45%	
16	MUESTRA 04 20.00 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 30%	58160.00	202.00	287.92	280	14/05/2018	21/05/2018	7	102.83%	

OBSERVACIONES:

LOS DATOS DE LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL TESISTA



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
PUNO
Ing. Felipe Santiago Jara Vidalón Vega
CIP. 26510



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
PUNO
Ing. I.C. Edwin Y. Enrique Guzman
ENCARGADO DE LABORATORIO ING. CIVIL PUNO
B.E. N° 8015-65711



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



ENSAYO ROTURA DE ADOQUINES DE CONCRETO

NTP-399-611

PROYECTO : TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO
SOLICITANTE : BACH. CONDORI MAMANI, LUIS ALBERTO
LUGAR : PUNO
FECHA : 28 DE MAYO DEL 2018

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	CARGA Kg	AREA cm ²	ESF. ROTURA Kg/cm ²	F'C Kg/cm ²	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DIAS	%	PROM.
1	MUESTRA 01 20.20 x 10.20 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	63440.00	206.04	307.90	280	14/05/2018	28/05/2018	14	109.96%	108.29%
2	MUESTRA 02 20.30 x 10.30 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	63730.00	209.09	304.80	280	14/05/2018	28/05/2018	14	108.86%	
3	MUESTRA 03 20.20 x 10.20 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	61090.00	206.04	296.50	280	14/05/2018	28/05/2018	14	105.89%	
4	MUESTRA 04 20.20 x 10.20 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	62570.00	206.04	303.68	280	14/05/2018	28/05/2018	14	108.46%	
5	MUESTRA 01 20.30 x 10.30 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	59410.00	209.09	284.14	280	14/05/2018	28/05/2018	14	101.48%	103.78%
6	MUESTRA 02 20.30 x 10.30 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	62760.00	209.09	300.16	280	14/05/2018	28/05/2018	14	107.20%	
7	MUESTRA 03 20.30 x 10.30 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	59100.00	209.09	282.65	280	14/05/2018	28/05/2018	14	100.95%	
8	MUESTRA 04 20.30 x 10.30 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	61760.00	209.09	295.38	280	14/05/2018	28/05/2018	14	105.49%	
9	MUESTRA 01 20.20 x 10.30 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	60350.00	208.06	290.06	280	14/05/2018	28/05/2018	14	103.59%	106.95%
10	MUESTRA 02 20.30 x 10.30 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	64280.00	209.09	307.43	280	14/05/2018	28/05/2018	14	109.80%	
11	MUESTRA 03 20.30 x 10.30 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	59720.00	209.09	285.62	280	14/05/2018	28/05/2018	14	102.01%	
12	MUESTRA 04 20.30 x 10.30 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	65800.00	209.09	314.70	280	14/05/2018	28/05/2018	14	112.39%	
13	MUESTRA 01 20.30 x 10.30 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 30%	69410.00	209.09	331.96	280	14/05/2018	28/05/2018	14	118.56%	119.88%
14	MUESTRA 02 20.10 x 10.20 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 30%	69380.00	205.02	338.41	280	14/05/2018	28/05/2018	14	120.86%	
15	MUESTRA 03 20.20 x 10.20 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 30%	69340.00	206.04	336.54	280	14/05/2018	28/05/2018	14	120.19%	
16	MUESTRA 04 20.20 x 10.20 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 30%	69180.00	206.04	335.76	280	14/05/2018	28/05/2018	14	119.91%	

OBSERVACIONES :

LOS PRUEBAS Y LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL TESISISTA

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
FILIAL PUNO
Ing. Felipe Sánchez Jara Vidación Vega
CIP 26510



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FILIAL PUNO
Bach. I.C. Edwin Yoel Choque Guzmán
ENCARGADO DE LABORATORIO ING. CIVIL PUNO

E.L. N° 8015-65711



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



ENSAYO ROTURA DE ADOQUINES DE CONCRETO

NTP-399-611

PROYECTO : TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUÑO
SOLICITANTE : BACH. CONDORI MAMANI, LUIS ALBERTO
LUGAR : PUÑO
FECHA : 06 DE JUNIO DEL 2018

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	CARGA Kg	AREA cm2	ESF. ROTURA Kg/cm2	F'C Kg/cm2	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DIAS	%	PROM.
1	MUESTRA 28 20.10 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	69710.00	203.01	343.38	280	11/05/2018	08/06/2018	28	122.64%	121.47%
2	MUESTRA 28 20.10 x 10.15 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	67210.00	204.02	329.44	280	11/05/2018	08/06/2018	28	117.66%	
3	MUESTRA 28 20.15 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	69900.00	203.52	343.46	280	11/05/2018	08/06/2018	28	122.67%	
4	MUESTRA 28 20.10 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN SIN VIDRIO	69870.00	203.01	344.17	280	11/05/2018	08/06/2018	28	122.92%	
5	MUESTRA 28 20.15 x 10.15 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	64690.00	204.52	316.30	280	11/05/2018	08/06/2018	28	112.96%	111.95%
6	MUESTRA 28 20.10 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	64100.00	203.01	315.75	280	11/05/2018	08/06/2018	28	112.77%	
7	MUESTRA 28 20.15 x 10.15 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	62150.00	204.52	303.88	280	11/05/2018	08/06/2018	28	108.53%	
8	MUESTRA 04 20.15 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 10%	64710.00	203.52	317.96	280	11/05/2018	08/06/2018	28	113.56%	
9	MUESTRA 28 20.10 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	67690.00	203.01	333.43	280	11/05/2018	08/06/2018	28	119.08%	117.59%
10	MUESTRA 28 20.15 x 10.10 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	66690.00	203.52	327.69	280	11/05/2018	08/06/2018	28	117.03%	
11	MUESTRA 28 20.15 x 10.15 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	66490.00	204.52	325.10	280	11/05/2018	08/06/2018	28	116.11%	
12	MUESTRA 28 20.15 x 10.15 x 6.00 ADOQUÍN VIDRIO - 20%	67650.00	204.52	330.77	280	11/05/2018	08/06/2018	28	118.13%	

OBSERVACIONES :

LOS DATOS Y LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL TESISISTA



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
FILIAL PUÑO

Mg. Ing. Felipe Santiago Jara Vidañón Vega



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FILIAL PUÑO

Bach. I.E. Edwin Yoel Choque Guzmán
ENCARGADO DE LABORATORIO ING. CIVIL PUÑO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOMECÁNICA Y MECÁNICA DE ROCAS
Ciudad Universitaria Telf.: 051 366193



INFORME 0026 – 2018-LG&G-FIM-UNA-PUNO.

***RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE
ADOQUINES DE CONCRETO**

SOLICITADO POR:
BACH. LUIS ALBERTO CONDORI MAMANI.

PROYECTO:
TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN
PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO.

UBICACIÓN:
CIUDAD DE PUNO


MUESTRA:
ADOQUINES DE CONCRETO ENDURECIDO

FECHA
08 DE JUNIO, 2018

Nota:

- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el cliente.




Dr. E. Alfredo Camác Torres
Laboratorio de Geotecnia y Mecánica de Rocas
Facultad de Ingeniería de Minas

Cc. Archivo 2018
EACT/OACCC/ILN

Página 1 de 4
Dirección: Av. Floral 1153 - Ciudad Universitaria - Pab. Ing. de Minas - Puno
Teléfono fijo: 051- 366193;
E-mail: unaminas@gmail.com
Web: <http://web.unap.edu.pe/web4/minas>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOMECÁNICA Y MECÁNICA DE ROCAS
Ciudad Universitaria Telf.: 051 366193



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE ADOQUINES DE CONCRETO

INFORME N° : 026-2018-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.
FECHA DE EMISIÓN : 18/06/2018.
SOLICITADO POR : BACH. LUIS ALBERTO CONDORI MAMANI
PROYECTO : TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO.
UBICACIÓN : CIUDAD DE PUNO.
MUESTRA DE EXTRACCIÓN : ADOQUINES DE CONCRETO ENDURECIDO.
LABORATORISTA : ING. SC. OSCAR ALBERTO CONDORI CAHUANA & ING. SC. IVAN LAURA NINA.
RESPONSABLE : DR. ING. ALFREDO E. CAMAC TORRES

N° de Ensayo	REGISTRO DEL ADOQUIN	ELEMENTO	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PROMEDIO ANCHO (cm)	PROMEDIO LARGO (cm)	PROMEDIO ALTURA (cm)	AREA DEL ADOQUIN (cm²)	PESO (Kg.)	REST. DISEÑO (kg/cm²)	LECTURA DEL DIAL (kg-f)	RESISTENCIA ADOQUIN (kg-f/cm²)	RESISTENCIA ADOQUIN (MPa)	% de Resistencia
1	M 28 V 301	ADOQUIN CON VIDRO - 30%	11/05/2018	08/06/2018	28	10.15	20.10	6.00	204.02	2.748	280	70330	344.73	33.81	123.12
2	M 28 V 302	ADOQUIN CON VIDRO - 30%	11/05/2018	08/06/2018	28	10.20	20.20	6.00	206.04	2.579	280	67610	328.14	32.18	117.19
3	M 28 V 303	ADOQUIN CON VIDRO - 30%	11/05/2018	08/06/2018	28	10.15	20.20	6.00	205.03	2.572	280	69870	340.78	33.42	121.71
4	M 28 V 304	ADOQUIN CON VIDRO - 30%	11/05/2018	08/06/2018	28	10.20	20.20	6.00	206.04	2.823	280	69070	335.23	32.87	119.72





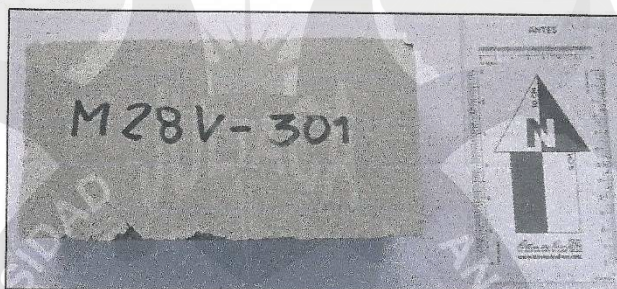
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOMECÁNICA Y MECÁNICA DE ROCAS
Ciudad Universitaria Telf.: 051 366193



PANEL FOTOGRÁFICO

ANTES

1) M 28 V - 301:



2) M 28 V - 302:



3) M 28 V - 303:



Dr. E. Alfredo Cámac Torres
JEFE DE LABORATORIO
FIM - UNA - PUNO

Cc. Archivo 2018
EACT/OACCC/ILN

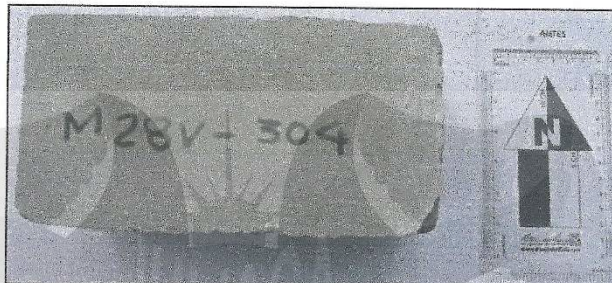
Página 3 de 4
Dirección: Av. Floral 1153 - Ciudad Universitaria - Pab. Ing. de Minas - Puno
Teléfono fijo: 051- 366193;
E-mail: unaminas@gmail.com
Web: <http://web.unap.edu.pe/web4/minas>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOMECÁNICA Y MECÁNICA DE ROCAS
Ciudad Universitaria Telf.: 051 366193



1) M 28 V - 304:



DESPÚES

Rotura testigo de los adoquines:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE GEOMECÁNICA Y MECÁNICA DE ROCAS
PUNO - PERU
Dr. E. Alfredo Cámac Torres
JEFE DE LABORATORIO
FIM - UNA-PUNO

Cc. Archivo 2018
EACT/OACCC/ILN

Página 4 de 4
Dirección: Av. Floral 1153 - Ciudad Universitaria - Pab. Ing. de Minas - Puno
Teléfono fijo: 051- 366193;
E-mail: unaminas@gmail.com
Web: <http://web.unap.edu.pe/web4/minas>



Anexo N° 10: Certificado de absorción de adoquines



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES

NTP 399.611

PROYECTO : TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO
SOLICITANTE : BACH. CONDORI MAMANI LUIS ALBERTO
MUESTRA : 0% DE VIDRIO
LUGAR : PUNO
FECHA : 13 DE JULIO DEL 2018

$$\text{ABSORCIÓN} = \frac{(B-A) \times 100}{A}$$

A= PESO DE MUESTRA SECA (gr).
B= PESO DE MUESTRA SATURADA (gr).

ADOQUÍN 01

A= 2431.3 gr.
B= 2573.4 gr.

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28A - 001	ADOQUÍN 20.10 X 5.98 X 10.10 cm	13/07/2018	1214.00	5.84

ADOQUÍN 02

A= 2430.9 gr.
B= 2577.6 gr.

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28A - 002	ADOQUÍN 20.10 X 6.00 X 10.15 cm	13/07/2018	1224.09	6.03

ADOQUÍN 03

A= 2430.2 gr.
B= 2575.8 gr.

N°	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28A - 003	ADOQUÍN 20.10 X 5.99 X 10.10 cm	13/07/2018	1216.03	5.99

OBSERVACIONES :

LOS ADOQUINES FUERON PUESTOS Y ENSAYADOS EN EL LABORATORIO POR EL



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
PUNO
Mg. Ing. Felipe Santiago Jera Vidalón Vega
CIP. 26510



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FILIAL PUNO
Bach. T.C. Edwin Yonel Choque Guzmán
ENCARGADO DE LABORATORIO ING. CIVIL PUNO

B.E. N° B015-70911



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES

NTP 399.611

PROYECTO : TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO
SOLICITANTE : BACH. CONDORI MAMANI LUIS ALBERTO
MUESTRA : 10 % DE VIDRIO
LUGAR : PUNO
FECHA : 13 DE JULIO DEL 2018

$$\text{ABSORCIÓN} = \frac{(B-A) \times 100}{A}$$

A= PESO DE MUESTRA SECA (gr).
B= PESO DE MUESTRA SATURADA (gr).

ADOQUÍN 01

A= 2429.2 gr.
B= 2564.5 gr.

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28V - 101	ADOQUÍN 20.15 X 6.02 X 10.15 cm	13/07/2018	1231.23	5.57

ADOQUÍN 02

A= 2493.4 gr.
B= 2628.2 gr.

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28V - 102	ADOQUÍN 20.10 X 6.02 X 10.10 cm	13/07/2018	1222.12	5.41

ADOQUÍN 03

A= 2460.7 gr.
B= 2583.4 gr.

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28V - 103	ADOQUÍN 20.15 X 6.00 X 10.15 cm	13/07/2018	1227.14	4.99

OBSERVACIONES :

LOS ADOQUINES FUERON PUESTOS Y ENSAYADOS EN EL LABORATORIO POR EL TESISTA

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
FILIAL PUNO
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
PUNO
Mg. Ing. Felipe Santiago Jara Vidallon Vega
CIP. 26510

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
FILIAL PUNO
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
PUNO
Bach. Ing. Edwin Yoel Choque Guzman
ENCARGADO DE LABORATORIO ING. CIVIL PUNO

B.E. N° B015-70911



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

**ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES**

NTP 399.611

PROYECTO : TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO
SOLICITANTE : BACH. CONDORI MAMANI LUIS ALBERTO
MUESTRA : 20% DE VIDRIO
LUGAR : PUNO
FECHA : 13 DE JULIO DEL 2018

$$\text{ABSORCIÓN} = \frac{(B-A) \times 100}{A}$$

A= PESO DE MUESTRA SECA (gr).
B= PESO DE MUESTRA SATURADA (gr).

ADOQUÍN 01

A= 2510.6 gr.
B= 2687.0 gr.

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28V - 201	ADOQUÍN 20.10 X 6.00 X 10.10 cm	13/07/2018	1218.06	7.03

ADOQUÍN 02

A= 2555.9 gr.
B= 2678.0 gr.

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28V - 202	ADOQUÍN 20.15 X 6.01 X 10.10 cm	13/07/2018	1223.13	4.78

ADOQUÍN 03

A= 2504.1 gr.
B= 2681.2 gr.

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28V - 203	ADOQUÍN 20.15 X 5.98 X 10.15 cm	13/07/2018	1223.04	7.07

OBSERVACIONES :

LOS ADOQUINES FUERON PUESTOS Y ENSAYADOS EN EL LABORATORIO POR EL TESISISTA



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
PUNO
Mg. Ing. Felipe Santiago Jara Vidafón Vega
CIP. 26510



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
PUNO
Bach. I.C. Edwin Yoel Choque Guzman
ENCARGADO DE LABORATORIO ING. CIVIL PUNO

B.E. N° B015-70911



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



ENSAYO DE ABSORCIÓN DE ADOQUINES

NTP 399.611

PROYECTO : TRATAMIENTO DEL VIDRIO RECICLADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES EN PAVIMENTOS ARTICULADOS DE LA CIUDAD DE PUNO
SOLICITANTE : BACH. CONDORI MAMANI LUIS ALBERTO
MUESTRA : 30% DE VIDRIO
LUGAR : PUNO
FECHA : 13 DE JULIO DEL 2018

$$\text{ABSORCIÓN} = \frac{(B-A) \times 100}{A}$$

A= PESO DE MUESTRA SECA (gr).
B= PESO DE MUESTRA SATURADA (gr).

ADOQUÍN 01

A= 2573.5 gr.
B= 2758.9 gr.

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28V - 301	ADOQUÍN 20.10 X 5.98 X 10.15 cm	13/07/2018	1220.01	7.20

ADOQUÍN 02

A= 2571.5 gr.
B= 2768.1 gr.

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28V - 302	ADOQUÍN 20.20 X 6.02 X 10.20 cm	13/07/2018	1240.36	7.65

ADOQUÍN 03

A= 2574.5 gr.
B= 2765.1 gr.

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	VOLUMEN cm3	% ABS.
M28V - 303	ADOQUÍN 20.20 X 5.99 X 10.15 cm	13/07/2018	1228.13	7.40

OBSERVACIONES :

LOS ADOQUINES FUERON PUESTOS Y ENSAYADOS EN EL LABORATORIO POR ENTREGA



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
PUNO
Mg. Ing. Felipe Santiago Jara Vidarón Vega
CIP. 26510



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
PUNO
Bach. I.C. Edwin Yael Choque Guzman
ENCARGADO DE LABORATORIO ING. CIVIL PUNO

B.E. N° B015-70911